

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE LUGO

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



**EFFECTOS AGRONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA
FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE PATATA EN A
LIMIA (OURENSE)**

CRISTINA LÓPEZ MATEO

2007

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE LUGO

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



**EFFECTOS AGRONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA
FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE PATATA EN A
LIMIA (OURENSE)**

Fdo. D. M^a Luisa Fernández Marcos Fdo. D. Esperanza Álvarez Rodríguez

V^o B^o Tutora

Fdo. D. M^a Elvira López Mosquera

El alumno

M^a Cristina López Mateo

Dña María Luisa Fernández Marcos y Dña Esperanza Álvarez Rodríguez, profesoras titulares del Departamento Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Santiago de Compostela

INFORMAN:

Que la Ingeniera Agrónoma **Dña M^a Cristina López Mateo** realizó bajo su dirección, en las dependencias que el Departamento de Edafología y Química Agrícola tiene en el Campus de Lugo, el trabajo titulado **"Efectos agronómicos y ambientales de la fertilización en el cultivo de patata en A Limia (Ourense)"**.

Que dicha investigación constituye trabajo de tesis doctoral y, por tanto, autorizamos su presentación para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo.

Y para que así conste a los efectos oportunos, lo firmamos en Lugo, a once de Julio de 2007.

Fdo. D. M^a Luisa Fernández Marcos Fdo. D. Esperanza Álvarez Rodríguez

Agradecimientos

Agradezco el apoyo y dedico este trabajo a todos los que han colaborado directa e indirectamente.

A mis directoras: Maria Luisa Fernández Marcos y Esperanza Álvarez Rodríguez por su inestimable ayuda y apoyo sin los cuales este trabajo nunca se hubiera llevado a cabo.

Al Instituto do Campo, de la Diputación de Ourense, por su participación desde su inicio en este trabajo, cuyos ensayos de campo se desarrollaron íntegramente en la finca de este organismo en Xinzo de Limia. En particular, agradezco a Lucio García Calvo, responsable del Instituto, y a Manolo, Paco, Servando, Toni y demás trabajadores de esta institución su valiosa contribución e interés mostrado en esta investigación.

A todo el profesorado del departamento de Edafología y Química Agrícola en el campus de Lugo, por su ayuda.

Al profesor Timoteo Caetano Ferreira, por su apoyo e inestimables consejos, que contribuyeron a la mejora de este texto.

A mis compañeros, en especial:

M^a Jesús Vázquez Celeiro (Susi) no sólo por su ayuda y compañía en el laboratorio, sino también por su gran paciencia y el siempre estar dispuesta a escuchar y por su optimismo constante.

Ana Viadé Borrego por demostrar ser una amiga y estar dispuesta siempre a infundir ánimo.

Pablo Fernández Méndez y a Rubén García Cabana, no sólo por sus ayudas en el trabajo de campo sino por ser las personas comprensivas a las que sabes puedes recurrir en cualquier momento.

También quiero hacer mención a los siguientes compañeros del departamento de Edafología: Aurora, Bea, Diego, Fernando, Fran, Iria, Iris, Jose Manuel, Judith, Julio, Marcos, Martin, Marisa, Marta, Monste, Natalia, Pancho, Paula, Roberto, Yago y Yudani, por compartir tantas horas en el laboratorio y hacerlas más amenas. También a Cris y a Susi del Departamento de Fitotecnia por compartir los primeros momentos de la mañana.

Una mención especial a mi amigo Spi, que me aportó soporte técnico para el desarrollo de alguna parte de esta tesis.

A Carlos por ser la persona que más cerca tenía, y a la que siempre puedes acudir para resolver todo tipo de problemas, por su ayuda, ánimo, cariño, enorme paciencia y por su comprensión en momentos de desánimo.

A toda mi familia en especial mis padres por su cariño, apoyo e incentivo, a mi hermano (Tito) y Angi por estar ahí a pie de cañón para lo que necesitase y por su alegría, también por último no quiero olvidarme de mis suegros, cuñados y en especial mi sobrina Anita.

INDICE

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1.- CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO Y DE LA PRODUCCIÓN.....	1
2.1.1.- Orígenes	1
2.1.2.- Situación actual del cultivo.....	2
2.1.3.- Clasificación taxonómica.....	10
2.1.4.- Variedades.....	11
2.1.5.- Composición química	13
2.1.6.- Aprovechamientos del cultivo.....	13
2.1.7.- Fases de desarrollo de la planta.....	15
2.2.- REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	16
2.2.1.- Suelo	16
pH	17
Nitrógeno.....	17
Fósforo	17
Potasio	18
Calcio y magnesio.....	18
Micronutrientes.....	19
2.2.2.- Clima y disponibilidad de agua	19
a) Temperatura:.....	19
b) Precipitación:.....	20
c) Luz solar:	21
2.2.3.- Necesidades de nutrientes	21
2.3.- FERTILIZACIÓN INORGÁNICA Y ORGÁNICA DE LA PATATA.....	22
2.3.1.- Fertilización inorgánica	23
Nitrógeno.....	23
Fósforo	26
Potasio	27
Calcio y magnesio.....	28
2.3.2.- Fertilización orgánica	29
2.4.- EFECTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN.....	30
2.5.- ANTECEDENTES DE ESTE TRABAJO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA	36
3. MATERIAL Y MÉTODOS	1
3.1.- ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN	1

3.1.1. - Características de los ensayos de fertilización	1
a) Fertilización	2
a.1) Fertilización mixta	2
a.2) Fertilización mineral	4
b) Desarrollo del cultivo	5
c) Tratamientos fitosanitarios	6
3.1.2. - Toma de muestras	7
a) Suelo	7
b) Estiércol de pollo	7
c) Vegetación	8
3.1.3. - Determinaciones analíticas	9
3.1.3.1. - Suelo	9
a) Caracterización inicial del suelo	9
Análisis granulométrico	9
Composición mineralógica de la fracción arcilla	9
Determinación de la densidad real y aparente de la fracción arcilla	9
Determinación del pH	10
Complejo de cambio. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC _e)	10
Determinación de fósforo asimilable	10
Determinación del carbono y nitrógeno totales	11
Determinación del pH en NaF	11
Estimación de la reserva de agua útil (RAU)	11
b) Análisis del suelo a lo largo del ciclo del cultivo en los 3 años	11
Determinación de materia orgánica	12
Determinación de amonio y nitrato	12
Determinación de nitrógeno mineralizable	12
Determinación de micronutrientes asimilables en el extracto Mehlich 3	12
3.1.3.2. - Hoja y peciolo	12
Carbono y Nitrógeno	13
Calcio, magnesio, potasio, fósforo y micronutrientes	13
3.1.3.3. - Tubérculos	13
Densidad	14
Porcentaje de materia seca	15
Ácidos ascórbico y cítrico	15
Almidón	15
Azúcares reductores (glucosa y fructosa)	15
Carbono y Nitrógeno	16
Calcio, magnesio, potasio, fósforo y micronutrientes	16
Pardeamiento enzimático	16
Oscurecimiento después de la cocción	16
Calidad del tubérculo frito (Valoración del color del frito y porcentaje frito desechable)	16
3.1.4. Cálculo de parámetros de eficiencia de la fertilización	17
- Recuperaciones aparentes de nitrógeno, fósforo y potasio (R _N , R _P y R _K)	18
- Eficiencia de nitrógeno, fósforo y potasio	18
3.2. - ESTUDIO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	18

pH y Conductividad eléctrica.....	20
Amonio y nitrato	20
Fosfato	20
Potasio	20
Materia orgánica	20
3.3. ESTUDIO CLIMÁTICO	20
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	21
 4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DEL ENSAYO.....	 1
4.1. LOCALIZACIÓN.....	1
4.2. - CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	2
4.2.1.- Temperatura y humedad.....	2
4.2.2.- Heladas	3
4.2.3.- Balance hídrico	3
4.2.4.- Clasificación de Thornthwaite.....	4
Índice de humedad (I_h).....	4
Índice de aridez (I_a)	5
Índice hídrico anual (I_{ha})	5
Índice de la concentración estival de la eficacia térmica (c).....	5
4.3. - CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	5
4.4. - CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA.....	8
4.5. - HIDROLOGÍA DE LA ZONA	8
 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 1
5.1. - CLIMA Y SUELO	1
5.1.1.-Estudio climático de los años 1998, 1999 y 2000	1
5.1.2.-Precipitación y evapotranspiración del período de muestreo de aguas 2001-2002	5
5.1.3. Análisis del horizonte superficial del suelo	6
5.2. ENSAYO DE FERTILIZACIÓN MIXTA.....	12
5.2.1. Suelo	12
pH.....	12
Carbono total y materia orgánica	18
Nitrógeno total	21
Relación carbono/nitrógeno.....	22
Nitrógeno mineralizable	23
Nitrato y amonio.....	25

Fósforo asimilable (Olsen)	31
Fósforo asimilable (Mehlich 3)	35
Complejo de cambio de cationes	40
Potasio, Calcio y Magnesio.....	40
Relaciones entre los cationes del complejo de cambio.....	47
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).....	52
Micronutrientes asimilables (Mehlich 3)	54
<i>5.2.2. Hoja y peciolo</i>	59
Carbono en hoja y peciolo	59
Nitrógeno en hoja y peciolo	60
Relación C/N en hoja y peciolo.....	63
Fósforo en hoja y peciolo.....	64
Potasio en hoja y peciolo	68
Calcio en hoja y peciolo.....	73
Magnesio en hoja y peciolo	76
Micronutrientes en hoja y peciolo.....	80
Cobre en hoja y peciolo.....	80
Cinc en hoja y peciolo.....	81
Hierro en hoja y peciolo	84
Manganeso en hoja y peciolo	87
<i>5.2.3. Tubérculo</i>	91
Rendimiento total y Rendimiento comercial.....	91
Materia seca	97
Densidad	99
Composición química	100
Almidón.....	100
Nitrógeno y Proteína total	101
Fósforo.....	104
Potasio	105
Extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio por la cosecha.....	107
Calcio.....	110
Magnesio	112
<i>Micronutrientes</i>	114
Cobre.....	114
Cinc.....	115

Hierro	117
Manganeso.....	118
Azúcares reductores	118
<i>Ácidos orgánicos</i>	121
Ácido ascórbico	121
Ácido cítrico	122
<i>Otros factores de calidad del tubérculo</i>	124
Pardeamiento enzimático	124
Oscurecimiento después de cocción.....	124
Calidad del frito	125
Lavado	125
<i>Incidencia de enfermedades</i>	126
Sarna Común	126
Sarna Plateada.....	127
<i>Recuperación de N, P, K</i>	127
Recuperación aparente del nitrógeno	127
Recuperación aparente del fósforo.....	129
Recuperación aparente del potasio	131
Eficiencia del nitrógeno	133
Eficiencia del fósforo	135
Eficiencia del potasio.....	136
5.3. ENSAYO DE FERTILIZACIÓN MINERAL	138
5.3.1. Suelo	138
pH.....	138
Carbono total	142
Nitrógeno total	144
Relación carbono/nitrógeno.....	145
Nitrato y amonio.....	146
Fósforo asimilable (Olsen y Mehlich 3)	151
Complejo de cambio de cationes	155
Potasio, Calcio y Magnesio	155
Relaciones entre los cationes del complejo de cambio	162
Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC _e)	166
Micronutrientes asimilables (Mehlich 3).....	168
5.3.2. Hoja y Pecíolo	174

Carbono en hoja y peciolo	174
Nitrógeno en hoja y peciolo	175
Relación C/N en hoja y peciolo.....	178
Fósforo en hoja y peciolo.....	179
Potasio en hoja y peciolo	183
Calcio en hoja y peciolo.....	187
Magnesio en hoja y peciolo	191
Micronutrientes en hoja y peciolo.....	195
Cobre en hoja y peciolo.....	195
Cinc en hoja y peciolo.....	197
Hierro en hoja y peciolo	200
Manganeso en hoja y peciolo	204
5.3.3. Tubérculo	208
Rendimiento total y Rendimiento comercial	208
Materia seca	214
Densidad	216
Composición química	218
Almidón.....	218
Nitrógeno y Proteína total	218
Fósforo.....	220
Potasio	222
Extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio por la cosecha.....	225
Calcio.....	231
Magnesio	233
Micronutrientes.....	235
Cinc.....	236
Hierro.....	236
Manganeso.....	237
Azúcares reductores	237
Ácidos orgánicos.....	239
Ácido ascórbico.....	239
Ácido cítrico	240
Otros factores de calidad del tubérculo	241
Pardeamiento enzimático.....	241
Oscurecimiento después de la cocción (Pardeamiento en cocción)	242
Calidad del frito.....	242
Lavado	242
Incidencia de enfermedades.....	243
Sarna Común	243

Sarna Plateada.....	243
Rhizoctonia	243
Recuperaciones aparentes de nitrógeno, fósforo y potasio.....	243
Recuperación aparente de nitrógeno	243
Recuperación aparente de fósforo.....	246
Recuperación aparente del potasio.....	247
Eficiencia del nitrógeno	249
Eficiencia del fósforo	250
Eficiencia del potasio	252
5.4. EFECTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN. ANALISIS DE AGUAS	
FREÁTICAS Y SUPERFICIALES.....	255
pH	257
Conductividad eléctrica	258
Materia orgánica	260
Macronutrientes	263
Amonio	263
Nitrato.....	268
Fosfato	276
Potasio	280
 6. RESUMEN DE RESULTADOS.....	 1
Efectos de la fertilización sobre el suelo	1
Efectos de la fertilización sobre el rendimiento de la cosecha	1
Efectos de la fertilización sobre la calidad de la cosecha	2
Efectos de la fertilización sobre la calidad de las aguas freáticas y superficiales	3
 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 1
CONCLUSIONES	1
RECOMENDACIONES	2
 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 1

INDICE DE FIGURAS

2. INTRODUCCIÓN

Figura 2.1. Evolución de la producción de patata en Galicia entre 1995 y 2003. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003.....	5
Figura 2.2. Superficie dedicada al cultivo de patata en las distintas comarcas gallegas. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003.....	6
Figura 2.3. Porcentaje sobre la superficie agraria útil (SAU) de la superficie dedicada al cultivo de patata en las distintas comarcas gallegas. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003.	7
Figura 2.4. Reparto de la superficie cultivada en A Limia. Fuente: Revista do Instituto do Campo, nº 4, 2003.....	9
Figura 2.5. Fases del desarrollo de la patata (tomado de Rowe, 1993).....	16

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Figura 3.1. Situación de la parcela de experimentación.....	1
Figura 3.2. Fotos de las patatas de siembra de las dos variedades: Agria (a) y Kennebec (b)	2
Figura 3.3. Diseño de la parcela de fertilización mixta	3
Figura 3.4. Diseño de la parcela de fertilización mineral	4
Figura 3.5.- Proceso mecánico de arrancado del tubérculo.....	14
Figura 3.6.- Tubérculos tras el proceso del frito para las variedades Agria y Kennebec.....	17
Figura 3.7.- Localización de los puntos de agua muestreados	19

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL ENSAYO

Figura 4.1.- Comarcas de Galicia.....	1
Figura 4.2.- Balance hídrico para la estación de Xinzo de Limia.....	4
Figura 4.3.- Mapa Geológico de la zona del ensayo (IGME, 1974)	7

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 5.1.- Temperaturas medias de los tres años de estudio y valores normales del período 1961-1990	3
Figura 5.2.- Precipitación mensual para los tres años de estudio y la media de los 30 años ..	4
Figura 5.3.- P - ETP mensual para los tres años de estudio y la media de los 30 años	5
Figura 5.4.- Datos climáticos de precipitación y evapotranspiración del año de muestreo y valores medios de 1961-90	5
Figura 5.5.- Valores de pH en agua para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	13

Figura 5.6.- Valores de pH en agua para los años 1998 y 2000 en función del tratamiento de fertilización mineral	14
Figura 5.7.- Comparación de los valores de pH en agua en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	15
Figura 5.8.- Relación entre el pH en agua y el pH en KCl	16
Figura 5.9.- Valores de pH en KCl para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo	16
Figura 5.10.- a) Valores de pH en KCl para los tres años de estudio en función del tratamiento de fertilización mineral; b) Comparación de los valores de pH en KCl en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	17
Figura 5.11.- Relación entre el % de Carbono y el % de Materia orgánica para los tres años de estudio juntos	19
Figura 5.12.- Porcentaje de materia orgánica para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	20
Figura 5.13.- Comparación de las concentraciones de nitrógeno total, % en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	22
Figura 5.14.- Concentraciones de nitrógeno mineralizable, mg kg ⁻¹ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	24
Figura 5.15.- Comparación de las concentraciones de nitrógeno mineralizable, mg kg ⁻¹ en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	25
Figura 5.16.- Concentraciones de nitrato, mg kg ⁻¹ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	27
Figura 5.17.- Comparación de las concentraciones de nitrato, mg kg ⁻¹ en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	29
Figura 5.18.- Concentraciones de amonio, mg kg ⁻¹ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	30
Figura 5.19.- Concentraciones de P Olsen, mg kg ⁻¹ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	32
Figura 5.20.- Concentraciones de P Olsen, mg kg ⁻¹ en función de las dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b).....	33
Figura 5.21.- Comparación de las concentraciones de P Olsen, mg kg ⁻¹ en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo	34
Figura 5.22.- Concentraciones de P Olsen, mg kg ⁻¹ en función del tratamiento de fertilización mineral hasta el inicio de la tuberización	34
Figura 5.23.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg ⁻¹ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo	37
Figura 5.24.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg ⁻¹ en función de la dosis de fertilización orgánica en los tres años de estudio juntos (a) y en función del tratamiento de fertilización mineral para los tres años de ensayo (b)	37

Figura 5.25.- Comparación de la concentración de P Mehlich 3 en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control	38
Figura 5.26.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg^{-1} en función del tratamiento de fertilización mineral hasta el inicio de la tuberización	38
Figura 5.27.- Relación entre el P Mehlich 3 y el P Olsen para los años 1998 y 1999.....	39
Figura 5.28.- Concentraciones de potasio de cambio, (a); magnesio de cambio (b) y calcio de cambio (c), $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	43
Figura 5.29.- Concentraciones de potasio de cambio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de estudio juntos (a) y concentraciones de potasio de cambio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ en función del tratamiento de fertilización mineral para los distintos años de estudio (b)	44
Figura 5.30.- Comparación de la concentración de potasio de cambio (a) y calcio de cambio (b) en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control y magnesio de cambio (c) en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio	45
Figura 5.31.- Relación Ca/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	48
Figura 5.32.- Comparación de la relación Ca/Mg en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio juntos (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	49
Figura 5.33.- Relación Ca/K según los distintos tratamientos para la emergencia en el año 1999 (a) y Comparación de la relación Ca/K en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio (b)	50
Figura 5.34.- Relación K/Mg en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b) para los distintos años de estudio (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	51
Figura 5.35.- Comparación de la relación K/Mg en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	52
Figura 5.36.- Concentraciones de hierro Mehlich 3 (a) y manganeso Mehlich 3 (b), mg kg^{-1} para los tres años en las dos fechas de muestreo	56
Figura 5.37.- Concentraciones de cobre Mehlich 3 (a) y cinc Mehlich 3 (b), mg kg^{-1} para los tres años en las dos fechas de muestreo	57
Figura 5.38.- % Nitrógeno en hoja en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral.....	62
Figura 5.39.- Concentración de fósforo en hoja para los tres años de estudio al inicio de la tuberización	66
Figura 5.40.- Concentración de fósforo en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo	66
Figura 5.41.- Fósforo en peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de estudio	67
Figura 5.42.- Concentración de potasio en hoja y peciolo para los tres años de estudio al inicio de la tuberización	70
Figura 5.43. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo	71

Figura 5.44.- Potasio en hoja y peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica en los tres años de ensayo	72
Figura 5.45. Concentración de calcio en hoja y peciolo, $g\ kg^{-1}$, para los tres años en función de la fecha de muestreo.....	74
Figura 5.46.- Calcio en hoja y peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral	75
Figura 5.47. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, $g\ kg^{-1}$ para los tres años en función de la fecha de muestreo	78
Figura 5.48. Comparación de la concentración de magnesio en hoja y peciolo, $g\ kg^{-1}$ en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio.....	79
Figura 5.49. Concentración de cinc en hoja y peciolo, $mg\ kg^{-1}$ para los tres años en función de la fecha de muestreo.....	83
Figura 5.50.- Concentración de hierro en hoja y peciolo, $mg\ kg^{-1}$ para los tres años en función de la fecha de muestreo	86
Figura 5.51. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, $mg\ kg^{-1}$ para los tres años en función de la fecha de muestreo	89
Figura 5.52. Rendimiento medio total y comercial en los tres años de ensayo	91
Figura 5.53.- Rendimiento total en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y rendimiento total en función del tratamiento de fertilización mineral (b)	93
Figura 5.54.- Rendimiento comercial en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y rendimiento comercial en función del tratamiento de fertilización mineral (b).....	93
Figura 5.55. Porcentaje de producción no comercial ($> 80\ mm$) en función del año (a) y de la dosis de gallinaza (b)	94
Figura 5.56.- Porcentajes de materia seca en tubérculo para los tres años de estudio	98
Figura 5.57.- Porcentajes de materia seca en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de ensayo	98
Figura 5.58.- Correlación entre la materia seca y la densidad para los tres años de ensayo	100
Figura 5.59.- Porcentaje de nitrógeno en tubérculo para los tres años de estudio	102
Figura 5.60.- Porcentaje de nitrógeno en tubérculo según la dosis de fertilización orgánica (a) y según el tratamiento de fertilización mineral (b)	102
Figura 5.61.- Concentraciones de fósforo en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio.....	105
Figura 5.62.- Concentraciones de potasio en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio.....	106
Figura 5.63.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de nitrógeno....	109
Figura 5.64.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de fósforo	109
Figura 5.65.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de potasio	110
Figura 5.66.- Concentraciones de calcio en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio.....	111
Figura 5.67.- Magnesio del tubérculo para los tres años de estudio (a) y magnesio del tubérculo según la dosis de fertilización orgánica	114
Figura 5.68.- Concentración de cinc en tubérculo según la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral.....	116

Figura 5.69.- Concentración de hierro en tubérculo en función del tratamiento de fertilización mineral para los tres años de ensayo.....	117
Figura 5.70.- Concentración de azúcares reductores en función del año	119
Figura 5.71.- Concentración de azúcares reductores en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral	120
Figura 5.72.- Concentración de ácido ascórbico en función del año.....	122
Figura 5.73.- Concentración de ácido cítrico en función del año	123
Figura 5.74.- Porcentaje de sarna común en función del año.....	126
Figura 5.75.- Porcentaje de recuperación aparente del N en función del año y del tratamiento de fertilización mineral.....	128
Figura 5.76.- Comparación de los porcentajes de recuperación aparente del N en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral para los tres años de ensayo.....	128
Figura 5.77. Relación entre la recuperación del N, % y el rendimiento para los tres años de estudio.....	129
Figura 5.78.- Porcentaje de recuperación aparente del P en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b).....	130
Figura 5.79.- Comparación del porcentaje de recuperación de P en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral	130
Figura 5.80.- Relación entre la recuperación aparente del P, % y el rendimiento para los tres años de estudio	131
Figura 5.81.- Porcentaje de recuperación aparente del K en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral	132
Figura 5.82.- Comparación del porcentaje de recuperación aparente del K en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral	132
Figura 5.83. Relación entre la recuperación aparente del K, % y el rendimiento, t ha ⁻¹ para los tres años de estudio	133
Figura 5.84.- Eficiencia del N para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio	134
Figura 5.85.- Eficiencia del N para el tratamiento de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral en los tres años de estudio.....	134
Figura 5.86. Eficiencia del P para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio	135
Figura 5.87.- Eficiencia del P para el tratamiento de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral en los tres años de estudio.....	136
Figura 5.88.- Eficiencia del K para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio	136
Figura 5.89.- Eficiencia del K para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio	137
Figura 5.90.- Valores de pH en agua y en KCl para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo	139
Figura 5.91.- Relación entre el pH en agua y el pH en KCl	141
Figura 5.92. Relación entre el % de Carbono y el % de Materia orgánica	143
Figura 5.93.- Concentraciones de nitrato y amonio (mg kg ⁻¹) para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo	148

Figura 5.94.- Concentraciones de P Olsen (mg kg^{-1}) (a) y P Mehlich 3 (mg kg^{-1}) (b) para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo.....	153
Figura 5.95. Concentraciones de potasio (a), calcio (b) y magnesio (c) de cambio para los tres años en función de la fecha	159
Figura 5.96. Relación Ca/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	163
Figura 5.97. Relación Ca/K para los tres años de estudio y dos fechas	164
Figura 5.98. Relación K/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)	164
Figura 5.99.- Concentraciones de CICE, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ en función de la fertilización fosfatada y potásica para los años 1998 y 2000	167
Figura 5.100.- Concentración de hierro y manganeso disponible (mg kg^{-1}) para los tres años de estudio según el momento del ciclo vegetativo.....	171
Figura 5.101.- Concentración de cobre y cinc disponible (mg kg^{-1}) para los tres años de estudio según el momento del ciclo vegetativo	172
Figura 5.102.- Concentraciones de carbono en hoja y peciolo para los tres años de estudio en las dos variedades	175
Figura 5.103.- Concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo para los tres años de estudio en las dos variedades	177
Figura 5.104.- Concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo para fertilización nitrogenada en las dos variedades para los tres años de estudio.....	177
Figura 5.105. Concentración de fósforo en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio.....	181
Figura 5.106. Concentración de fósforo en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación.....	182
Figura 5.107. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio.....	185
Figura 5.108. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg^{-1} , para los tres años en función de los días después de la plantación.....	186
Figura 5.109. Concentración de calcio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio en las dos variedades	190
Figura 5.110. Concentración de calcio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades.....	190
Figura 5.111. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio en las dos variedades	193
Figura 5.112. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades	194
Figura 5.113. Concentración de cobre en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los dos años de estudio para las dos variedades	196
Figura 5.114. Concentración de cinc en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años de estudio para las dos variedades	198
Figura 5.115. Concentración de cinc en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades.....	199
Figura 5.116. Concentración de hierro en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años de estudio para las dos variedades.....	203

Figura 5.117. Concentración de hierro en hoja y peciolo, mg kg ⁻¹ para los tres años en función de los días después de la plantación para las dos variedades	203
Figura 5.118. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, mg kg ⁻¹ para los tres años de estudio para las dos variedades	206
Figura 5.119. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, mg kg ⁻¹ para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades	206
Figura 5.120. Rendimiento medio total y comercial en los tres años de ensayo para las dos variedades	209
Figura 5.121. Rendimiento total en función del año y la variedad	209
Figura 5.122.- Rendimiento total para las dos variedades en función del año y de la fertilización potásica.....	210
Figura 5.123. Rendimiento comercial en función del año y la variedad.....	211
Figura 5.124.- Porcentajes de materia seca en función de la fertilización potásica.....	215
Figura 5.125.- Rendimiento en materia seca para las dos variedades en función de la fertilización potásica.....	216
Figura 5.126. Densidad del tubérculo en función del año de ensayo	217
Figura 5.127. Porcentaje de nitrógeno en función del año de ensayo y de la fertilización nitrogenada	219
Figura 5.128. Concentración de fósforo según el año para las dos variedades de estudio: Agria y Kennebec	221
Figura 5.129. Concentración de fósforo en tubérculo según el año y la fertilización fosfatada.....	222
Figura 5.130. Concentración del potasio según el año.....	223
Figura 5.131. Concentraciones de potasio en tubérculo según el año y la fertilización potásica.....	224
Figura 5.132. Diferencias entre N, P y K extraídos por los tubérculos y aplicados frente a los aportes con la fertilización.....	226
Figura 5.133. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de nitrógeno .	227
Figura 5.134. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de fósforo.....	228
Figura 5.135. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de potasio.....	229
Figura 5.136. Extracciones de nitrógeno por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo.....	230
Figura 5.137. Extracciones de fósforo por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo.....	230
Figura 5.138. Extracciones de potasio por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo.....	231
Figura 5.139. Concentración de azúcares reductores para ambas variedades en los tres años de estudio.....	237
Figura 5.140. Concentración de azúcares reductores en función de la fertilización fosfatada.....	238
Figura 5.141. Contenidos de ácido ascórbico para las diferentes medidas de pardeamiento enzimático	241
Figura 5.142. Recuperación del N en función de la variedad y del año de ensayo	244
Figura 5.143. Extracción del N en función de la variedad y del año de ensayo	245

Figura 5.144. Relación entre la recuperación de P, % y el rendimiento para los tres años de estudio y para las dos variedades	247
Figura 5.145. Recuperación del K en función del año y de la fertilización potásica.....	248
Figura 5.146. Relación entre la recuperación de K, % y el rendimiento, t/ha para los tres años de estudio y para las dos variedades	249
Figura 5.147. Relación de la eficiencia del N con la fertilización nitrogenada en los tres años de estudio.....	250
Figura 5.148. Relación entre la eficiencia de N con la fertilización potásica en los tres años de estudio para las dos variedades	250
Figura 5.149. Relación entre la eficiencia del P y la fertilización fosfatada para los tres años de estudio y las dos variedades.....	251
Figura 5.150. Relación entre la eficiencia del P y la fertilización potásica para los tres años de estudio y las dos variedades	252
Figura 5.151. Relación entre la eficiencia del K y la fertilización potásica para los tres años de estudio y las dos variedades	253
Figura 5.152. Relación entre la eficiencia del K y la fertilización nitrogenada para los tres años de estudio y las dos variedades.....	254
Figura 5.153. Variación estacional de los valores medios del pH en aguas freáticas y superficiales.....	257
Figura 5.154. Valores de pH en aguas freáticas y superficiales	257
Figura 5.155. Variación estacional de los valores medios de C.E. en aguas freáticas y superficiales.....	258
Figura 5.156. Valores de conductividad eléctrica, $\mu\text{S cm}^{-1}$ para aguas superficiales.....	259
Figura 5.157. Frecuencia con que la CE de las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de $0,400 \text{ dS m}^{-1}$	260
Figura 5.158. Variación estacional de los valores medios de materia orgánica en aguas freáticas y superficiales	261
Figura 5.159. Frecuencia con que la oxidabilidad de las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de $0,625 \text{ meq L}^{-1}$ ($5 \text{ meq O}_2 \text{ L}^{-1}$).....	261
Figura 5.160. Frecuencia con que la oxidabilidad de las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,625 \text{ meq L}^{-1}$ ($5 \text{ meq O}_2 \text{ L}^{-1}$).....	262
Figura 5.161. Valores de materia orgánica, meq MO L^{-1} en aguas superficiales	262
Figura 5.162. Variación estacional de los valores medios de la concentración de amonio en aguas freáticas y superficiales.....	263
Figura 5.163. Concentración de amonio, mg N L^{-1} , en aguas freáticas (a) y en aguas superficiales (b)	264
Figura 5.164. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,79 \text{ mg N L}^{-1}$ ($1 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$).....	265
Figura 5.165. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de $0,39 \text{ mg N L}^{-1}$ ($0,5 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$)	265
Figura 5.166. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,39 \text{ mg N L}^{-1}$ ($0,5 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$).....	266
Figura 5.167. Concentración de amonio, mg N L^{-1} , para los distintos puntos de muestreo de aguas superficiales	267

Figura 5.168. Variación estacional de los valores medios de la concentración de nitrato en aguas freáticas y superficiales.....	268
Figura 5.169. Concentración de nitrato, mg N L^{-1} , en aguas superficiales (a) y en aguas freáticas (b).....	270
Figura 5.170. Frecuencia con que la concentración de nitrato en las muestras de aguas freáticas analizadas supera los valores de $2,24 \text{ mg N L}^{-1}$ ($10 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1} \text{ L}$), $5,6 \text{ mg N L}^{-1}$ ($25 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$) y $11,3 \text{ mg N L}^{-1}$ ($50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$).....	272
Figura 5.171. Frecuencia con que la concentración de nitrato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $5,6 \text{ mg N L}^{-1}$ ($25 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$).....	272
Figura 5.172. Distribución de las concentraciones de nitrato en aguas freáticas.....	274
Figura 5.173. Distribución de las concentraciones de nitrato en aguas superficiales	275
Figura 5.174. Variación estacional de los valores medios de la concentración de fosfato en aguas freáticas y superficiales.....	276
Figura 5.175. Concentración de fosfato, mg P L^{-1} , en aguas freáticas (a) y en aguas superficiales (b).....	277
Figura 5.176. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,1 \text{ mg P L}^{-1}$	278
Figura 5.177. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las aguas freáticas y superficiales analizadas supera el valor de $0,17 \text{ mg P L}^{-1}$ ($0,4 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$).....	279
Figura 5.178. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,2$ y $0,4 \text{ mg P L}^{-1}$	279
Figura 5.179. Variación estacional de los valores medios de la concentración de potasio en aguas superficiales y freáticas.....	281
Figura 5.180. Concentración de potasio, mg K/L , en aguas freáticas (a) y superficiales (b)	282
Figura 5.181. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de 10 mg K L^{-1}	282
Figura 5.182. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 10 mg K L^{-1}	283
Figura 5.183. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de 12 mg K L^{-1}	283
Figura 5.184. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 12 mg K L^{-1}	284

INDICE DE TABLAS

2. INTRODUCCIÓN

Tabla 2.1.- Evolución de la superficie de la patata en el mundo durante el período 1993-2003 (tomado de Draica et al., 2004).....	3
Tabla 2.2.- Evolución de la producción media de patata en el mundo durante el período 1993-2003 (tomado de Draica et al., 2004).....	4
Tabla 2.3.- Superficie y producción del cultivo de patata en España en la década 1995-2005 (Fuente FAOSTAT).....	4
Tabla 2.4.- Superficies medias, máximas y mínimas (ha) por explotación. Fuente: Revista do Instituto do Campo, nº 4, 2003.	9
Tabla 2.5.- Tipos de plaguicidas de uso habitual.....	10
Tabla 2.6.- Destino de la producción de patata en España (M.A.P.A., 2003).....	14
Tabla 2.7.- Evolución del consumo de patata en España (I.N.E., 2004).....	14
Tabla 2.8.- Concentraciones adecuadas de nutrientes sobre peso seco en el material vegetal de la patata (Epstein, 1972).....	22
Tabla 2.9.- Extracciones elementales de la patata (Harris, 1992).....	22

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 3.1.- Dosis de abonado orgánico y tratamiento de fertilización mineral.....	3
Tabla 3.2.- Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio.....	5
Tabla 3.3.- Fases de desarrollo del cultivo.....	5
Tabla 3.4.- Composición de la gallinaza.....	7
Tabla 3.5.- Dosis de gallinaza empleadas.....	8
Tabla 3.6.- Fechas de recogida de la vegetación.....	8
Tabla 3.7.- Valoración del tubérculo frito en crisps.....	17
Tabla 3.8.- Número de muestras de aguas freáticas y superficiales en las distintas fechas de muestreo.....	19

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL ENSAYO

Tabla 4.1.- Valores normales (1961-1990) de temperatura (°C), precipitación (mm) y ETP (mm).....	2
Tabla 4.2.- Datos del balance hídrico por el método de Thornthwaite.....	4

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 5.1.- Datos de temperatura (°C), precipitación (mm), evapotranspiración potencial (mm) y balance hídrico para los tres años de ensayo.....	1
Tabla 5.2.- Período de heladas en los tres años de estudio.....	4
Tabla 5.3.- Caracterización física de la capa arable.....	6

Tabla 5.4.- Caracterización química de la capa arable del suelo de las parcelas de fertilización mixta y de fertilización mineral	7
Tabla 5.5.- Porcentajes de cationes de cambio y relaciones entre los mismos en los ensayos de fertilización mixta y fertilización mineral	10
Tabla 5.6.- Valores medios de pH en agua para las distintas fechas de los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	12
Tabla 5.7.- Valores medios de pH en KCl para las distintas fechas de los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	15
Tabla 5.8.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del pH en agua y pH en KCl con distintos parámetros del suelo	18
Tabla 5.9.- Porcentajes medios de materia orgánica a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	18
Tabla 5.10.- Porcentajes medios de carbono total a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	19
Tabla 5.11.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de materia orgánica y de carbono con distintos parámetros del suelo	20
Tabla 5.12.- Concentraciones medias de nitrógeno total (%) a lo largo del ciclo de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	21
Tabla 5.13.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del N total con distintos parámetros del suelo	22
Tabla 5.14.- Relación carbono/nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	23
Tabla 5.15.- Concentraciones medias de nitrógeno mineralizable (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	24
Tabla 5.16.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del N mineralizable con distintos parámetros del suelo	25
Tabla 5.17.- Concentraciones medias de nitrato (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	26
Tabla 5.18.- Concentraciones medias de amonio (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	26
Tabla 5.19.- Diferencias significativas entre tratamientos para las concentraciones de nitrato en el suelo (mg kg^{-1}) en diferentes fechas	28
Tabla 5.20.- Diferencias significativas entre tratamientos para las concentraciones de amonio en el suelo (mg kg^{-1}) en diferentes fechas	30
Tabla 5.21.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del nitrato y del amonio con distintos parámetros del suelo	31
Tabla 5.22.- Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de fósforo disponible (Olsen) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	32
Tabla 5.23.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Olsen con distintos parámetros del suelo	35

Tabla 5.24.- Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de fósforo disponible (Mehlich 3) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	36
Tabla 5.25.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Mehlich-3 con distintos parámetros del suelo	39
Tabla 5.26.- Concentraciones medias de potasio de cambio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	40
Tabla 5.27.- Concentraciones medias de calcio de cambio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	41
Tabla 5.28.- Concentraciones medias de magnesio de cambio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	41
Tabla 5.29.- Coeficientes de regresión para las correlaciones del potasio, calcio y magnesio de cambio con distintos parámetros del suelo	46
Tabla 5.30.- Valores medios de las relaciones entre cationes de cambio para los tres años de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	47
Tabla 5.31.- Valores medios de la capacidad de intercambio y la suma de bases para los tres años de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	53
Tabla 5.32.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la CIC_e con distintos parámetros del suelo	53
Tabla 5.33.- Concentraciones medias de micronutrientes asimilables (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral).....	54
Tabla 5.34.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de las concentraciones de micronutrientes asimilables (Mehlich 3) con distintos parámetros del suelo	58
Tabla 5.35.- Porcentajes medios de carbono en hojas y peciolo para las tres fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	59
Tabla 5.36.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de carbono en hoja y peciolo con otros parámetros.....	60
Tabla 5.37.- Porcentajes medios de nitrógeno en hojas y peciolo para las tres fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	61
Tabla 5.38.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo con distintos parámetros del suelo en la misma fecha de muestreo	63
Tabla 5.39.- Valores medios de la relación C/N en hojas y peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	63
Tabla 5.40.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	64

Tabla 5.41.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	65
Tabla 5.42.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo con distintos parámetros	68
Tabla 5.43.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	68
Tabla 5.44.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	69
Tabla 5.45.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros	72
Tabla 5.46.- Concentraciones medias de calcio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	73
Tabla 5.47.- Concentraciones medias de calcio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	74
Tabla 5.48.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros	76
Tabla 5.49.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	77
Tabla 5.50.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	77
Tabla 5.51.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo con distintos parámetros	79
Tabla 5.52.- Concentraciones medias de cobre (mg kg^{-1}) en hojas y peciolo para la fecha 06/07/98 y tratamientos estudiados (O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	80
Tabla 5.53.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	81
Tabla 5.54.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	82
Tabla 5.55.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros	84
Tabla 5.56.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	85
Tabla 5.57.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	85

Tabla 5.58.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros	87
Tabla 5.59.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	88
Tabla 5.60.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)	88
Tabla 5.61.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros	90
Tabla 5.62.- Rendimientos medios totales y comerciales para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	91
Tabla 5.63.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de rendimiento total con distintos parámetros del suelo (en la emergencia), de hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) y del tubérculo en los tres años de estudio.....	96
Tabla 5.64. Estimación del rendimiento (t ha^{-1}) con distintos parámetros del suelo y vegetación.....	97
Tabla 5.65.- Materia seca en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral).....	97
Tabla 5.66.- % Nitrógeno y % Proteína total en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	101
Tabla 5.67.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del porcentaje de nitrógeno en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) en los tres años de estudio y del tubérculo.....	103
Tabla 5.68.- Concentración de fósforo en tubérculos, g kg^{-1} materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	104
Tabla 5.69.- Concentración de potasio en tubérculos, g kg^{-1} , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral).....	106
Tabla 5.70.- Intervalos de variación y valores medios de las extracciones por la cosecha en cada año de ensayo y en los tres años	107
Tabla 5.71.- Concentración de calcio en tubérculos, g kg^{-1} materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	111
Tabla 5.72.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de calcio en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) en 1998	112
Tabla 5.73.- Concentración de magnesio en tubérculo, g kg^{-1} , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral).....	113
Tabla 5.74.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de magnesio en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia), de hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) y del tubérculo en los tres años de estudio	114
Tabla 5.75.- Micronutrientes en tubérculos, mg kg^{-1} , para distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral).....	115

Tabla 5.76.- Azúcares reductores en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral).....	119
Tabla 5.77.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de azúcares reductores en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) en 1999 y 2000.....	120
Tabla 5.78.- Concentración de ácido ascórbico en tubérculo, mg kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	121
Tabla 5.79.- Concentración de ácido cítrico en tubérculo, mg kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)	123
Tabla 5.80.- Recuperación aparente del nitrógeno en el tubérculo.....	127
Tabla 5.81.- Recuperación aparente del fósforo en el tubérculo.....	129
Tabla 5.82.- Recuperación aparente del potasio en el tubérculo.....	131
Tabla 5.83.- Eficiencia del nitrógeno	134
Tabla 5.84.- Eficiencia de fósforo	135
Tabla 5.85.- Eficiencia del potasio	136
Tabla 5.86.- Valores medios de pH en agua para las distintas fechas de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación).....	138
Tabla 5.87.- Valores medios de pH en KCl 0,1 M para las distintas fechas de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación).....	139
Tabla 5.88.- Diferencias significativas según el abonado potásico para el pH en agua y en KCl	140
Tabla 5.89.- Diferencias significativas según las dosis de nitrógeno para el pH en agua y en KCl	140
Tabla 5.90.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del pH en agua y pH en KCl con distintos parámetros del suelo.....	141
Tabla 5.91.- Porcentajes medios de carbono total a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación)	142
Tabla 5.92.- Diferencias significativas en el porcentaje de carbono según las dosis de abonado	143
Tabla 5.93.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de carbono total con distintos parámetros del suelo	144
Tabla 5.94.- Concentraciones medias de nitrógeno total (%) a lo largo del ciclo del cultivo para la variedad Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	144
Tabla 5.95.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de nitrógeno total con distintos parámetros del suelo.....	145
Tabla 5.96.- Relación carbono/nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación).....	146
Tabla 5.97.- Concentraciones medias de nitrato (mg kg ⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)	147
Tabla 5.98.- Concentraciones medias de amonio (mg kg ⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	147
Tabla 5.99.- Diferencias significativas en la concentración de nitrato según las dosis de abonado en los tres años de ensayo.....	149

Tabla 5.100.- Diferencias significativas en la concentración de nitrato según las dosis de abonado en los tres años de ensayo en la última fecha (cosecha final).....	150
Tabla 5.101.- Diferencias significativas en la concentración de amonio según las dosis de abonado en 1998.....	150
Tabla 5.102.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del nitrato y del amonio con distintos parámetros del suelo	150
Tabla 5.103.- Concentraciones medias de fósforo disponible (Olsen) (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	151
Tabla 5.104.- Concentraciones medias de fósforo disponible (Mehlich 3)(mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	152
Tabla 5.105.- Concentraciones medias de fósforo Olsen para cada dosis de fertilizante fosforado	154
Tabla 5.106.- Concentraciones medias de fósforo Olsen para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico	154
Tabla 5.107.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Olsen y Mehlich 3 con distintos parámetros del suelo	155
Tabla 5.108.- Concentraciones medias de potasio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	156
Tabla 5.109.- Concentraciones medias de calcio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	157
Tabla 5.110.- Concentraciones medias de magnesio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	157
Tabla 5.111.- Concentraciones medias de potasio de cambio para cada dosis de fertilizante fosfatado y potásico	159
Tabla 5.112.- Concentraciones medias de calcio de cambio para cada dosis de fertilizante	160
Tabla 5.113.- Concentraciones medias de magnesio de cambio para cada dosis de fertilizante.....	161
Tabla 5.114.- Correlaciones del potasio, calcio y magnesio de cambio con distintos parámetros del suelo	162
Tabla 5.115.- Valores medios de las relaciones entre cationes de cambio para los distintos tratamientos en el momento de la emergencia en los tres años de cultivo para las dos variedades (ddp = días después de la plantación).....	163
Tabla 5.116.- Diferencias significativas en las relaciones intercatiónicas según las dosis de fertilización N, P, K.....	165
Tabla 5.117.- Capacidad de intercambio catiónico para los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación).....	166
Tabla 5.118.- Diferencias significativas para la CICE según las dosis de abonado.....	167
Tabla 5.119.- Correlaciones de la CICE con distintos parámetros del suelo.....	168
Tabla 5.120.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 1998 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	169

Tabla 5.121.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 1999 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	169
Tabla 5.122.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 2000 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	170
Tabla 5.123.- Diferencias significativas según las dosis de abonado.....	172
Tabla 5.124.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de las concentraciones de micronutrientes asimilables (Mehlich 3) con distintos parámetros del suelo.....	173
Tabla 5.125.- Porcentajes medios de carbono en hojas y peciolo para las fechas estudiadas en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades	174
Tabla 5.126.- Porcentajes medios de nitrógeno en hojas y peciolo para la fecha estudiada en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades	176
Tabla 5.127.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo en las dos variedades con distintos parámetros del suelo.....	178
Tabla 5.128.- Valores medios de la relación C/N en hojas y peciolo para la fecha estudiada de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades	179
Tabla 5.129.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación).....	180
Tabla 5.130.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación).....	181
Tabla 5.131.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo con distintos parámetros.....	183
Tabla 5.132.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para la variedad Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	183
Tabla 5.133.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	184
Tabla 5.134.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros.....	187
Tabla 5.135.- Concentraciones medias de calcio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	187
Tabla 5.136.- Concentraciones medias de calcio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación).....	188
Tabla 5.137.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros.....	191
Tabla 5.138.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades.....	192

Tabla 5.139.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades	192
Tabla 5.140.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo con distintos parámetros	194
Tabla 5.141.- Concentraciones medias de cobre (mg kg^{-1}) en hojas y peciolo para los años 1998 y 1999 (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades	195
Tabla 5.142.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cobre en hoja y peciolo con distintos parámetros	196
Tabla 5.143.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	197
Tabla 5.144.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	198
Tabla 5.145.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros.....	200
Tabla 5.146.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	200
Tabla 5.147.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	201
Tabla 5.148.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros	204
Tabla 5.149.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	205
Tabla 5.150.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)	205
Tabla 5.151.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros	207
Tabla 5.152.- Rendimientos medios totales y comerciales para los distintos tratamientos y los tres años de estudio	208
Tabla 5.153.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de rendimiento total con distintos parámetros del tubérculo, del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización).....	212
Tabla 5.154. Estimación del rendimiento (t/ha) a partir de distintos parámetros del suelo o de la vegetación para las dos variedades.....	213
Tabla 5.155.- Materia seca en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio.....	215
Tabla 5.156.- Valores medios de densidad para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico	217
Tabla 5.157.- Valores de almidón para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico	218

Tabla 5.158.- % Nitrógeno y % Proteína total en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio	219
Tabla 5.159.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del porcentaje de nitrógeno en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia)	220
Tabla 5.160.- Concentración de fósforo en tubérculos, g kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio.....	221
Tabla 5.161.- Concentración de potasio en tubérculos, g kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio	223
Tabla 5.162.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de potasio con distintos parámetros	224
Tabla 5.163. Intervalos de variación y valores medios de las extracciones por la cosecha en cada año de ensayo y en los tres años.....	225
Tabla 5.164.- Concentración de calcio en tubérculos, g kg ⁻¹ materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio.....	232
Tabla 5.165.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de calcio con distintos parámetros	232
Tabla 5.166.- Concentración de magnesio en tubérculo, g kg ⁻¹ de materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio	233
Tabla 5.167.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de magnesio en tubérculo con distintos parámetros.....	234
Tabla 5.168.- Micronutrientes en tubérculos, mg kg ⁻¹ , para distintos tratamientos y los tres años de estudio.....	235
Tabla 5.169.- Azúcares reductores en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (% sobre peso fresco).....	238
Tabla 5.170.- Concentración de ácido ascórbico en tubérculo, mg kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y los tres años de estudio.....	239
Tabla 5.171.- Concentración de ácido cítrico en tubérculo, mg kg ⁻¹ , para los distintos tratamientos y dos años de estudio.....	240
Tabla 5.172.- Recuperación aparente de nitrógeno por el tubérculo.....	244
Tabla 5.173.- Recuperación aparente de fósforo por el tubérculo	246
Tabla 5.174.- Recuperación aparente del potasio por el tubérculo	247
Tabla 5.175.- Eficiencia de nitrógeno	249
Tabla 5.176 .- Eficiencia de fósforo	251
Tabla 5.177.- Eficiencia del potasio	252
Tabla 5.178. Datos analíticos de las aguas freáticas y superficiales estudiadas en las distintas fechas de muestreo (valores medios y desviaciones estándar).....	256

RESUMEN

El cultivo de patata ocupa en Galicia 21731 ha, siendo por extensión, el tercer cultivo agrícola en esta comunidad. A Limia, en la provincia de Ourense, es la comarca de Galicia con más superficie dedicada al cultivo de la patata (4000-5000 ha).

Las necesidades de nutrientes varían a lo largo del desarrollo del cultivo, siendo críticas en la fase de desarrollo de los tubérculos. Los suelos gallegos normalmente son pobres en nutrientes, por lo tanto se tienen que suministrar fertilizantes. La aplicación de altas dosis de los mismos a los suelos, con frecuencia muy permeables, puede llevar consigo riesgos de contaminación de acuíferos. Sin embargo, hay una falta de información para el agricultor, en particular en lo que se refiere a técnicas y dosis de fertilización.

La finalidad de esta tesis es el estudio en condiciones de campo de la repercusión de distintos niveles de fertilización inorgánica y orgánica en el rendimiento y calidad de patata producida en la comarca de A Limia. Además se presta atención a las repercusiones ambientales, en particular la exportación de nutrientes a los medios acuáticos. Para alcanzar este objetivo, se llevaron a cabo un ensayo de fertilización mixta (mineral + estiércol de pollo) y otro de fertilización exclusivamente mineral (NPK), durante tres años, utilizando ambos ensayos un diseño factorial con tres repeticiones. Se utilizaron patatas (*Solanum tuberosum* L.) variedades Kennebec y Agria. Durante un año, se tomaron muestras bimestralmente de aguas freáticas y superficiales de la comarca de A Limia y se procedió a su análisis químico.

La fertilización mineral o mixta da lugar, en general, a incrementos de las concentraciones en el suelo de nitrógeno total, nitrato, fósforo y potasio asimilables, a lo largo del ciclo de cultivo y en el momento de la cosecha. La variación de la concentración de un determinado nutriente resulta no sólo de la aplicación de ese elemento nutritivo, sino también del aporte de otros elementos, hecho que revela importantes interacciones entre nutrientes. En condiciones climáticas favorables, el aumento de fertilización se traduce en mayores rendimientos y consecuentemente mayores extracciones por la cosecha, de modo que no se observan diferencias significativas entre tratamientos en las concentraciones de nutrientes en el suelo. Por el contrario, en condiciones climáticas menos favorables para el cultivo, las menores extracciones por la cosecha dan lugar a diferencias significativas entre tratamientos en las concentraciones de nutrientes. La fertilización conduce, en general, a rendimientos significativamente superiores a los obtenidos en las parcelas sin fertilizar. No se aprecian diferencias entre rendimientos obtenidos con fertilización mixta o mineral. Entre los fertilizantes minerales, sólo el potasio da lugar a incrementos significativos del rendimiento. En un año considerado óptimo hay una respuesta del cultivo a dosis de hasta 300 kg K_2O /ha. El abonado orgánico, hasta dosis de 30 m³ de estiércol de pollo por hectárea, combinado con fertilización mineral, da lugar a incrementos significativos del rendimiento. Los rendimientos varían significativamente entre los 3 años de ensayo. Dosis crecientes de fertilización potásica dan lugar a una disminución del porcentaje de materia seca de los tubérculos. La concentración de proteína en el tubérculo aumenta con la dosis de abonado orgánico y con la aplicación de nitrógeno mineral. La concentración de azúcares reductores en el tubérculo está afectada significativamente por la fertilización. La calidad de los tubérculos para frito aumenta con la fertilización, en particular potásica. Los análisis de aguas confirman que los nutrientes aplicados al suelo como fertilizantes orgánicos o inorgánicos y no utilizados por los cultivos están disponibles para ser arrastrados a medios acuáticos por drenaje o escorrentía. La red de canales de drenaje en la antigua laguna de Antela favorece la movilización de nutrientes aplicados al suelo, conduciendo a elevadas concentraciones en aguas superficiales. El elevado nivel de la capa freática en invierno propicia que el agua subterránea se cargue de sustancias solubles

aplicadas al suelo, de modo que las concentraciones de macronutrientes en aguas freáticas poco profundas son más elevadas incluso que en aguas superficiales. El suelo no parece ejercer eficazmente su habitual papel de filtro, posiblemente por la textura gruesa de los horizontes superficiales y el bajo contenido de materia orgánica que presenta.

ABSTRACT

Potato cropping is carried out in Galicia (Spain) over an area of circa 21,731 ha. It is, according to surface, the third agricultural crop in this region. A Limia, in the province of Orense, is the Galician county devoting the largest area to potato crop (4000-5000 ha).

The nutrient requirements of potato vary throughout the growing cycle, being critical in the phase of tuber bulking. Galician soils have usually low nutrient contents, so fertilising is necessary to grow potatoes. Applying high fertiliser rates to soils, often highly permeable, may bring about risk of aquifers contamination. However, the farmer lacks of information regarding fertiliser rates and management.

The present thesis aims to study, in field trials, the impact of various levels of inorganic and organic fertilisers on yield and quality of potatoes produced in A Limia (Orense, Spain). Furthermore, attention is paid to environmental impacts, particularly nutrients exportation to aquatic environments. To achieve this goal, two types of field experiments were carried out during three consecutive years. The first type of experiment used only mineral fertilisation (NPK). The second type used mixed fertilisation (mineral + chicken manure). In both experiments, the experimental design was a factorial one, with three replications. Experimental plots were sown with potato (*Solanum tuberosum* L.), cultivars Kennebec and Agria. Moreover, samples of ground- and surface-waters were collected every two months, along one year, in the county of A Limia and analysed for macro- and micro-nutrients.

Fertilisation, either mineral or mixed, resulted generally in higher concentrations of total nitrogen, nitrate, phosphorus and available potassium in soil, all along the growing season and at harvest. The variation in the concentration of a particular nutrient resulted not only from applying this particular element, but also from the application of other elements, a fact that reveals significant interactions between nutrients. In favourable weather conditions, increased fertilisation resulted in higher yields, and consequently higher nutrient uptake by the crop, so that no significant differences in nutrient concentrations in soil were observed among different treatments. By contrast, in less favourable climatic conditions, lower uptake by crop lead to significant differences in nutrient concentrations among treatments. Fertilisation resulted generally in significantly higher yields, compared to unfertilised plots. No differences in yield were found between mineral and mixed fertilisation. Among mineral fertilisers, only potassium lead to significant yield increases. In an optimum year, the crop responded to K fertilisation up to 300 kg K₂O/ha. Similarly, organic fertilisation up to 30 m³ of chicken manure per hectare, combined with mineral fertilisation, resulted in significant increases in yield. Yields vary significantly among the three years of trial. Increasing K rates lead to a decrease in the percentage of dry matter in tubers. The concentration of protein in tubers increased with organic fertilisation as well as with the application of mineral nitrogen. The concentration of reducing sugars in tubers is significantly affected by fertilisation. The tuber quality for frying increased upon fertilisation, particularly with potassium. The water analysis confirmed that nutrients applied to soil, either as organic or inorganic fertilisers, and not taken up by crops are available to be removed to water bodies, by drainage or runoff. The network of drainage canals in the former lagoon of Antela favours the mobilisation of

nutrients applied to agricultural soils, leading to high concentrations in surface waters. The high level of the water table in winter facilitates the movement to groundwater of soluble substances applied to soils, so that the macronutrient concentrations in shallow ground waters are even higher than in surface waters. The soil does not seem to effectively exert his usual filter role, possibly due to its coarse texture and low organic matter content.

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El sector de la patata en Galicia es de gran importancia económica, siendo la comunidad española con mayor producción. Parte de la producción de patatas se dedica a autoconsumo, pero hay comarcas como A Limia, que tienen una dependencia total de este cultivo. La patata ocupa alrededor de un 27-28% del espacio agrario de A Limia; catorce municipios de la comarca pertenecen a la IGP (Indicación Geográfica Protegida) Patata de Galicia.

La alta rentabilidad del cultivo permite realizar inversiones importantes no sólo en maquinaria, sino también en fertilizantes y productos fitosanitarios. La aplicación de dosis muy elevadas de estas sustancias a los suelos, con frecuencia arenosos y, por tanto, muy permeables, puede llevar consigo riesgos ambientales sin un aumento significativo de la producción. Sin embargo, hay una falta de información para el agricultor, en particular en lo que se refiere a técnicas y dosis de fertilización.

En otra de las comarcas acogidas a la denominación, Bergantiños, existe un mejor conocimiento de algunos aspectos relacionados con el cultivo de la patata, habiéndose llevado a cabo estudios de evaluación de los suelos para este cultivo, rendimientos y experiencias de fertilización (Lema *et al.*, 1988; Lema y Martínez., 1989; Lema, 1996). En A Limia se carece absolutamente de este tipo de estudios.

Con frecuencia se utilizan análisis de suelos para conocer la suficiencia o deficiencia de los contenidos de nutrientes para las plantas. Por otra parte, la composición química de las plantas proporciona una información muy valiosa acerca del estado nutricional de un cultivo. Por lo tanto los análisis de las plantas junto con los de suelos son una útil herramienta para hacer recomendaciones de fertilización.

El objeto de esta tesis es el estudio en condiciones de campo de la repercusión de distintos niveles de fertilización inorgánica y orgánica en el rendimiento y calidad de la patata producida en la comarca de A Limia. Se ensayaron fertilización inorgánica NPK y gallinaza, solas o en combinación, en dosis similar, inferior o superior a las utilizadas habitualmente en la comarca. Además de la influencia sobre el rendimiento y calidad de la patata, se presta atención a las repercusiones ambientales, en particular la exportación de nutrientes a los medios acuáticos, con el fin de establecer recomendaciones de "buenas prácticas agrícolas" que no comprometan el desarrollo futuro de la comarca.

El ensayo tuvo una duración de tres años, durante los cuales se realizó un seguimiento de la cantidad y calidad de la cosecha, así como de las propiedades químicas del suelo, la dinámica de nutrientes en el mismo, la composición de hojas y peciolo y de la composición de las aguas freáticas y superficiales, con vistas a propiciar un desarrollo sostenible.

Los resultados del ensayo pueden contribuir a establecer pautas para una mejor práctica de la fertilización del cultivo de patata en el área de estudio.

El objetivo del estudio se alcanzará abordando las siguientes cuestiones, consideradas las más importantes desde un punto de vista práctico:

1. Determinación del impacto de diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio o de abono orgánico (estiércol de pollo) sobre las propiedades químicas del suelo y sobre el rendimiento y calidad de la cosecha de *Solanum tuberosum* L. (variedades Kennebec y Agria) en A Limia (Galicia, España).
2. Identificación de posibles interacciones entre los fertilizantes aplicados.
3. Estudio de la composición química de las aguas superficiales y subterráneas de la comarca de A Limia, con especial atención a las concentraciones de macronutrientes procedentes de la aplicación agrícola de fertilizantes.
4. Determinación de la dosis óptima de fertilización para el cultivo patata en la comarca de A Limia, con objeto de obtener altos rendimientos y cosechas de calidad, con beneficios económicos para el agricultor y protección de la calidad ambiental.

2. INTRODUCCIÓN

2.1.- CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO Y DE LA PRODUCCIÓN

2.1.1.- Orígenes

La patata es originaria de América. La palabra papa (patata) es un vocablo quechua que significa tubérculo. La patata cultivada tiene más especies silvestres afines que cualquier otro cultivo, las cuales están ampliamente distribuidas en América, desde la región Sudoeste de Estados Unidos hasta el extremo sur de la cordillera Andina.

El cultivo de la patata se inició hace 7 a 10 mil años en la región del lago Titicaca en Perú/Bolivia (Hawkes, 1993). Fue introducida en España hacia 1570 y se extendió rápidamente por Europa en menos de un siglo. En los siglos XVII y XVIII fue introducida en diversos países asiáticos, como India, Japón y China. A principios del siglo XVIII se introdujo en Norteamérica. Las variedades cultivadas actualmente en la zona templada pertenecen a la especie *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*, originaria de Chile.

Del cultivo de la patata en Galicia se hace mención por primera vez en el año 1607. De acuerdo con Abel Bouhier (1979), durante el siglo XVII y la primera mitad del XVIII el cultivo de patata en Galicia se redujo probablemente a algunos ensayos en monasterios y casas nobles. Solamente en algunas parroquias de la provincia de Ourense hay constancia de este cultivo, en tierras de regadío o secano, en rotación con lino o cereal. Entre 1750 y 1765, la patata se producía en diversos lugares de Galicia, ocupando una superficie total pequeña. A partir de 1785 se multiplican las referencias a este cultivo en Galicia. Siempre según Bouhier, en estos años la producción de patata se dedica principalmente a la alimentación de los cerdos. Durante la primera mitad del siglo XIX, la patata continúa extendiéndose por Galicia, venciendo considerable oposición de diversos sectores de la población y dificultades de adaptación del sistema agrario. Ya en esta época, en el tercio norte de la actual provincia de Lugo, en las montañas orientales y en la Alta Limia, la totalidad de las parroquias cultivaban patatas (Bouhier, 1979). En la Galicia occidental, la patata estaba mucho menos generalizada. A partir de 1850, el ataque del mildiu tuvo como consecuencias la reducción de la superficie del cultivo y del número de variedades cultivadas. Después de 1865, el cultivo recuperó con creces la superficie anterior y nuevas

variedades, traídas por barcos ingleses que arribaban a Vigo o Coruña o difundidas por la Granja Experimental de La Coruña, se propagaron rápidamente. A partir de 1890 la expansión de la patata fue más rápida, reemplazando al barbecho en rotación con el centeno y coincidiendo con la decadencia del castaño. Esta expansión fue posible por la primera divulgación de los abonos químicos, en particular los superfosfatos, que se aplicaban al centeno y permitían disponer de abono orgánico para aplicar a la patata, cultivo de segundo año en un sistema rotacional.

Desde 1925 el cultivo de la patata experimentó un segundo desarrollo. El número de variedades cultivadas era todavía muy alto, más de 200, si bien se había comenzado a adoptar algunas variedades extranjeras muy productivas. Algunas zonas se habían especializado en la producción de variedades escogidas, como la "Valenciana" en la Alta Limia. Esta comarca ya en 1935 exportaba a Portugal patatas de consumo y de simiente.

La expansión del cultivo de patata desde finales del siglo XIX, sobre todo en la Galicia oriental, fue uno de los elementos principales de enriquecimiento del sistema agrario.

2.1.2.- Situación actual del cultivo

La patata ocupa el cuarto lugar por volumen de producción entre los cultivos destinados a alimentación en el mundo (Draica *et al.*, 2004), después del trigo, el maíz y el arroz. El cultivo de patata es importante tanto en países industrializados como en países en vías de desarrollo, como fuente de ingresos y de alimentación. Entre la década de 1960 y la de 1990 la producción de patata creció un 4% anual en los países en desarrollo (Guenthner, 2001). Es previsible que en el futuro aumente la importancia de la patata en la alimentación humana, por su elevado índice de cosecha (relación entre el peso de los órganos comestibles y el peso total) y por el potencial de incrementar su rendimiento en Europa y especialmente en los países en desarrollo (De Temmerman *et al.*, 2002).

La superficie mundial dedicada al cultivo de patata es de 19,1 millones de hectáreas y la producción anual de 329 millones de toneladas. En Europa se producen 141 millones de toneladas/año en una superficie de 8 millones de hectáreas (Askew, 2005). Entre 1993 y 2003 la superficie dedicada al cultivo de patata en el mundo aumentó en un 5,5% (Tabla 2.1), registrándose un notable incremento en África y Asia, mientras la superficie dedicada

a este cultivo en Europa disminuyó, particularmente en los nuevos miembros de la Unión Europea (Draica *et al.*, 2004).

Tabla 2.1.- Evolución de la superficie de la patata en el mundo durante el período 1993-2003 (tomado de Draica *et al.*, 2004)

Mundo y Continentes	1993		2003		2003/1993	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Mundo	18.218.572	100	19.217.910	100	+999.338	105,50
África	707.881	3,88	1.139.559	5,92	+431.678	160,98
América del Norte y Central	758.606	4,16	790.884	4,11	+32.278	104,25
América del Sur	911.338	5,00	934.493	4,86	+23.155	102,54
Asia	5.593.899	30,70	7.848.906	40,84	+2.225.007	140,31
Europa	10.198.169	56,00	8.451.708	44,00	-1.746.461	82,87
Oceanía	48.679	0,26	52.360	0,27	+3.681	107,56

El rendimiento del cultivo de patata depende en gran medida de las condiciones ambientales y del nivel de tecnología empleada, variando entre menos de 5 t ha⁻¹ en algunos países africanos y más de 40 t ha⁻¹ en EEUU y diversos países europeos (Draica *et al.*, 2004). Algunos autores proponen como objetivo alcanzar las 100 t ha⁻¹ y analizan la estrategia para conseguirlo (Williams, 1993). El rendimiento medio del cultivo de patata en el mundo apenas varió entre 1993 (16,51 t ha⁻¹) y 2003 (16,20 t ha⁻¹), registrándose incrementos en América del Sur, del Norte y Central, en Asia y en Oceanía y ligeros descensos en Europa y África (Tabla 2.2).

La superficie dedicada al cultivo de patata en España (2005) es de 94.600 ha y el rendimiento medio de 27,5 t ha⁻¹, muy por encima de la media europea (15,5 t ha⁻¹) y mundial (16,2 t ha⁻¹). Es uno de los países donde se registró entre 1995 y 2005 una mayor disminución de la superficie dedicada al cultivo de patata (un 54%; FAOSTAT). La disminución de la producción fue comparativamente menor, sólo el 33%, debido a un incremento notable del rendimiento (Tabla 2.3).

Tabla 2.2.- Evolución de la producción media de patata en el mundo durante el período 1993-2003 (tomado de Draica *et al.*, 2004)

Mundo y Continentes	1993		2003		2003/1993
	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	%
Mundo	16,51	100	16,20	100	98,1
África	10,93	66,2	10,73	66,2	98,2
América del Norte y Central	32,27	195,5	36,28	224,0	112,4
América del Sur	12,25	74,2	15,11	93,3	123,4
Asia	15,07	91,3	15,77	97,3	104,6
Europa	16,83	101,9	15,48	95,5	92,0
Oceanía	31,67	191,8	33,86	209,0	106,9
Federación Rusa	10,61	64,3	10,91	67,3	102,8

Tabla 2.3.-Superficie y producción del cultivo de patata en España en la década 1995-2005 (Fuente FAOSTAT)

Año	Superficie, ha	Producción, t	Rendimiento, t ha ⁻¹
1995	205.930	3.913.800	19,0
2005	94.600	2.604.000	27,5
2005/1995, %	45,9	66,5	144,7

En Galicia, el cultivo de patata ocupa 21.731 hectáreas (IGE, 2004), siendo, por extensión, el tercer cultivo agrícola en esta comunidad, después de la vid y los cereales. El 3% de esta superficie está acogida a la Indicación Geográfica Protegida (IGP) "Patata de Galicia". La producción total de patata en Galicia es de 513.646 toneladas/año, siendo la producción certificada como "Patata de Galicia" 4.800 toneladas en 2003 (5.168 t en 2005). El valor de la producción de patata en Galicia fue en 2003 de 86 millones de euros a precio del productor (IGE, 2004). El valor de la producción comercializada bajo la IGP "Patata de Galicia" es de 1.800.000 euros. La producción total experimentó una disminución en la última década, estabilizándose en los últimos años (Figura 2.1).

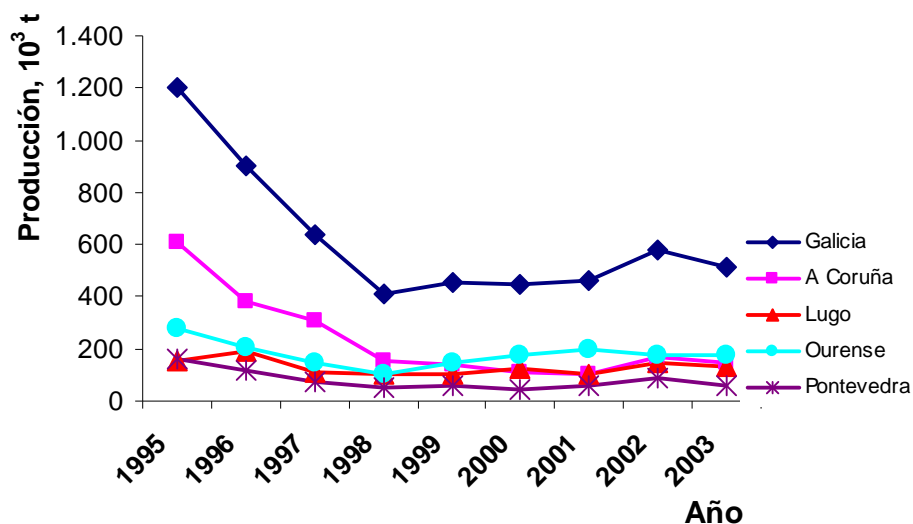


Figura 2.1. Evolución de la producción de patata en Galicia entre 1995 y 2003. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003

En nuestra Comunidad predomina la patata de media estación (la cosechada entre el 15 de junio y el 30 de septiembre), seguida de la tardía (entre el 30 de septiembre y el 15 de enero), la temprana (entre el 15 de abril y el 15 de junio) y la extratemprana (entre el 15 de enero y el 15 de abril) (M.A.P.A, 2003).

De las provincias gallegas, Ourense es la que registra la mayor producción de patata (175.045 toneladas), principalmente en las comarcas de A Limia y Allariz-Maceda (IGE, 2004).

Prácticamente en todas las comarcas gallegas se cultiva patata, si bien las que dedican mayor superficie a este cultivo (Figura 2.2) son las de Bergantiños (A Coruña), Lugo y Terra Chá (Lugo) y A Limia y Allariz-Maceda (Ourense). Es en estas dos últimas comarcas donde la superficie dedicada a este cultivo supone un mayor porcentaje de la superficie agraria útil (Figura 2.3).

SUPERFICIE DE PATACA (EN HA)

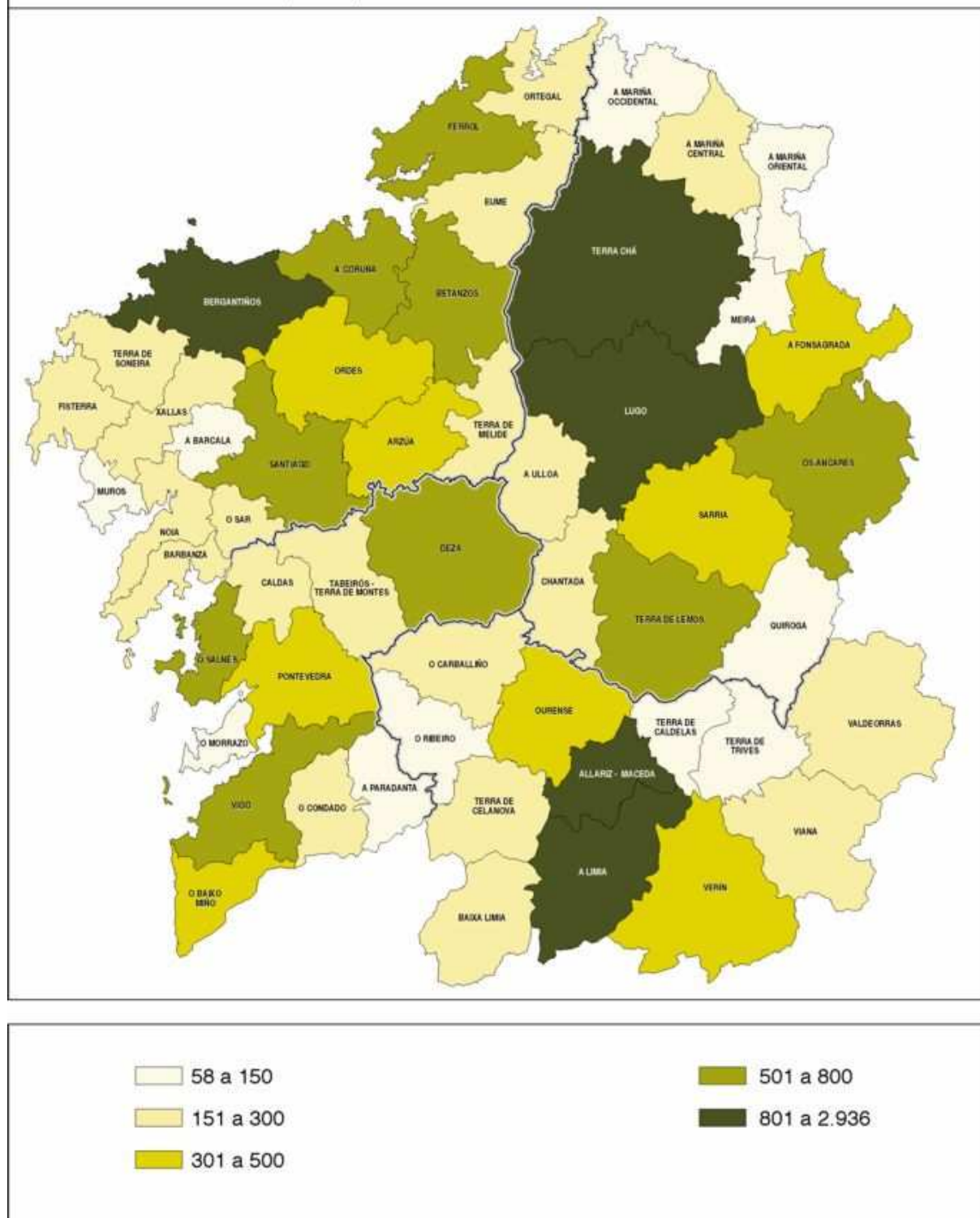


Figura 2.2. Superficie dedicada al cultivo de patata en las distintas comarcas gallegas. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003.

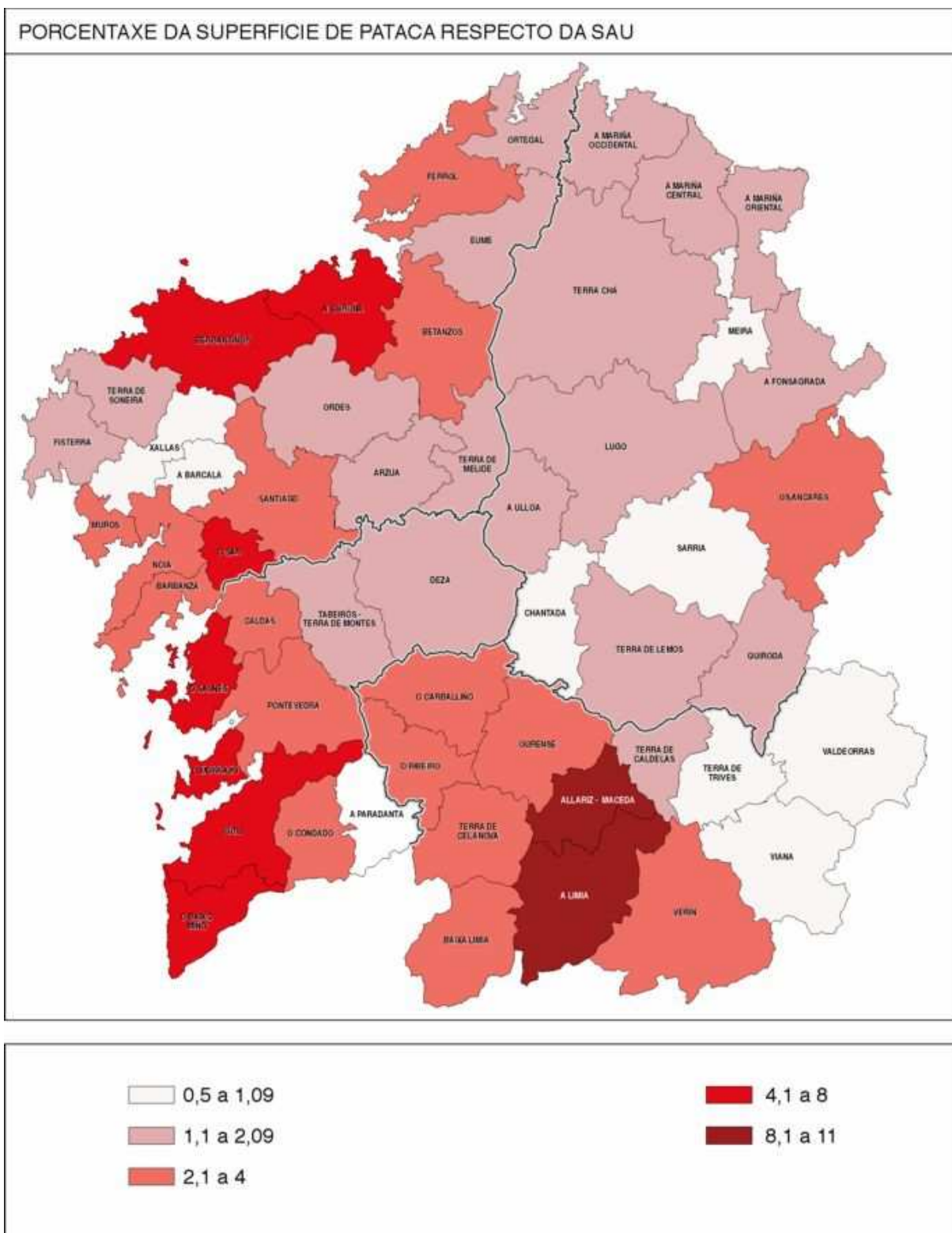


Figura 2.3. Porcentaje sobre la superficie agraria útil (SAU) de la superficie dedicada al cultivo de patata en las distintas comarcas gallegas. Fuente: Instituto Gallego de Estadística. Anuario de Estadística Agraria 2003.

A Limia, en la provincia de Ourense, es la comarca de Galicia con más superficie dedicada al cultivo de la patata, aproximadamente 4000 ha (dato facilitado por el Instituto do Campo). Esta comarca acoge una de las cuatro subzonas incluidas en la Indicación Geográfica Protegida (IGP) "Pataca de Galicia", junto con las subzonas de Bergantiños, Lemos y Vilalba.

Las patatas acogidas a la IGP "Pataca de Galicia" deben pertenecer a la variedad Kennebec. Las características particulares y de calidad de la patata de consumo certificada por la IGP "Pataca de Galicia" deben ser las siguientes: sanas, enteras, de aspecto normal, limpias, firmes y prácticamente sin germinar, sin manchas ni heridas, sin sarna, exentas de humedad exterior, así como de olores y sabores extraños. Al finalizar el envasado, las patatas presentarán, además, estas características:

- Formato de los tubérculos: de redondeada a oval.
- Calibre entre 40 e 80 mm.
- Presencia de ojos muy superficiales.
- Piel de apariencia lisa y fina, de color amarillo claro.
- Color de la carne: blanca.
- Textura: firme y cremosa al ser cocida, consistente en la boca.
- Calidad para consumo: excelente, destacando por su contenido en materia seca y por mantener sus calidades de color, aroma y sabor después de ser cocinada.
- Contenido en materia seca: superior al 18%.
- Contenido en azúcares reductores: inferior al 0,4%.

Todo esto lo recoge la Orden del 29 de octubre de 2001 de la Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria, por la que se aprueba el "Regulamento da indicación xeográfica protexida Pataca de Galicia e do seu consello regulador" (D.O.G., 09/11/01).

Dentro de la Indicación Geográfica Protegida, la subzona de A Limia está constituida por la totalidad de los términos municipales de Baltar, Os Blancos, Calvos de Randín, Porqueira, Rairiz de Veiga, Sandiás, Sarreaus, Trasmiras, Vilar de Santos y Xinzo de Limia, y algunas parroquias de los municipios de Allariz, Cualedro, Vilar de Barrio y Xunqueira de Ambía (M.A.P.A, 2005).

En la comarca de A Limia se practica una agricultura intensiva, centrada en la producción de patata. El cultivo se lleva a cabo con aplicación de dosis elevadas de fertilizantes, tanto minerales como orgánicos (estiércol de pollo). La mayor parte de la superficie agraria de esta comarca está dedicada al cereal, seguido de la patata y el forraje, representando otros tipos de cultivos solamente el 0,07 % de la superficie total (Figura 2.4).

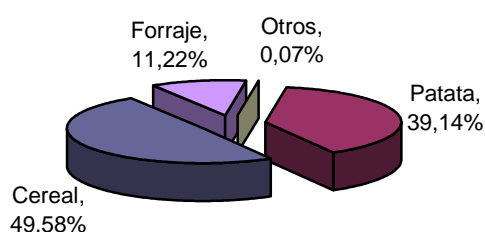


Figura 2.4. Reparto de la superficie cultivada en A Limia. Fuente: Revista do Instituto do Campo, nº 4, 2003.

Las superficies medias, máximas y mínimas por explotación dedicadas en A Limia a los distintos cultivos aparecen reflejadas en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4.- Superficies medias, máximas y mínimas (ha) por explotación. Fuente: Revista do Instituto do Campo, nº 4, 2003.

CULTIVO	Mínima	Máxima	Media	Desviación típica
Patatas	0,22	37,60	6,82	6,18
Cereal	1,58	72,86	10,55	7,33
Forraje	0,15	57,30	7,25	9,03
Otros	0,03	1,51	0,35	0,46

La explotación media de la comarca tiene una superficie de 17,4 ha, repartidas del siguiente modo: 8,65 ha de cereal, 6,8 ha de patata y 1,95 ha de forraje.

Actualmente se dedican en A Limia entre 4000 y 5000 ha al cultivo de patata. De esta superficie, aproximadamente un 40% se destina a producción de Kennebec, 50% a Agria y el 10% restante a otras variedades, principalmente variedades rojas. La producción anual en esta comarca es de 25-30 t ha⁻¹ en secano y 35-40 t ha⁻¹ en regadío para la variedad Kennebec y de 30-40 t ha⁻¹ en secano y 40-50 t ha⁻¹ en regadío para la variedad Agria.

La patata se cultiva en rotación con trigo. Se pueden distinguir dos tipos de rotaciones:

- Grandes productores (un año trigo, un año patata)
- Productores pequeño - medianos (dos - tres años trigo, un año patatas).

El cultivo se lleva a cabo habitualmente con aplicación de fuertes dosis de fertilizantes. Tradicionalmente la fertilización se aplica en presiembra. En los últimos años se está introduciendo la aportación de nitrógeno en cobertera. Se suelen usar abonos compuestos en fondo, casi siempre N-P-K 9-18-27 (1000-1250 kg ha⁻¹). Es frecuente la aplicación de abono orgánico completado con fertilizante mineral; en este caso se usan de 30 a 60 m³ de estiércol de pollo por hectárea y se le añaden entre 500-700 kg ha⁻¹ del complejo N-P-K 9-18-27.

La aplicación de plaguicidas es una práctica habitual. Se emplean diversas sustancias activas para combatir las plagas más habituales de este cultivo (Tabla 2.5):

Tabla 2.5.- Tipos de plaguicidas de uso habitual

Materia activa	Tipo	Aplicación
Linurón	Herbicida	En preemergencia
Metribucina	Herbicida	En postemergencia
Metalaxil y Mancozeb	Fungicida sistémico	3 tratamientos/20 días
Cimoxanilo, Cobre y Mancozeb	Fungicida penetrante	En floración, 2 - 3 tratamientos
Confidor	Insecticida (pulgón)	Antes y después de la floración
Dicuat	Quemante	Antes de la cosecha

2.1.3.- Clasificación taxonómica

La patata comercial es la *Solanum tuberosum* L., que pertenece a la familia *Solanaceae*.

El género *Solanum* abarca un gran número de especies, pero muchas de ellas no tuberizan o se hallan en estado silvestre. Este género se extiende por todo el mundo, exceptuando las zonas más cercanas a los polos, con una alta concentración de diversidad de especies en América Central y Sudamérica, por una parte, y en Australia, por otra. Las especies que tuberizan están completamente confinadas, en origen, al continente americano y muchas son de considerable interés por su resistencia a plagas y enfermedades y su adaptación a climas extremos.

Se ha sugerido que la primitiva patata cultivada podría ser la especie *S. canasense*, que se distribuye ampliamente en el área donde se inició probablemente el cultivo. Luego evolucionaría a la especie *S. stenotomum*, y de ésta parece que han derivado las demás especies (Hawkes, 1992).

La especie tetraploide *S. tuberosum* ha sido la más productiva y la más extendida, diferenciándose dos subespecies: *andígena*, del Perú y Bolivia, y *tuberosum*, desarrollada como resultado de la selección bajo condiciones de día largo en las costas de Chile y durante varios cientos de años en Europa.

2.1.4.- Variedades

Al tratarse de un cultivo muy extendido, existen numerosas variedades de características diversas, capaces de acomodarse a condiciones climatológicas muy diferentes y para su utilización con distintos fines.

La clasificación varietal se realiza según los siguientes caracteres: color y textura de la piel, color de la carne, número de ojos, forma del tubérculo, aptitudes culinarias, características de los brotes y de la parte aérea, productividad, precocidad de la brotación, tuberización y cosecha, resistencia a plagas y enfermedades, aptitudes culinarias, etc.

El criterio agronómico más empleado en la clasificación de variedades es el ciclo de cultivo, existiendo las siguientes categorías, dentro de las que destacamos las variedades más características en Galicia para cada una de ellas:

a) Variedades precoces: en este grupo se incluyen aquellas variedades con un ciclo de cultivo que dura hasta 90 días. En Galicia destaca la variedad Jaerla.

b) Variedades semitempranas: aquellas con un ciclo de entre 90 y 120 días, destacando en nuestra Comunidad las variedades Agria, Kennebec, Red Pontiac y Spunta. El cultivo de la variedad Red Pontiac prácticamente ha desaparecido en la actualidad, mientras la variedad Spunta se produce en pequeña cantidad en la Mariña Lucense.

c) Variedades semitardías: variedades que tienen entre 120 y 150 días de ciclo. Aquí son reseñables la Arran Banner y la Desirée, la primera de ellas prácticamente desaparecida en Galicia en la actualidad.

d) Variedades tardías: tendrán un ciclo que puede llegar hasta los 200 días de duración, siempre con más de 150 días. Destaca la variedad Baraka, cultivada principalmente en las comarcas de Terra Chá y la Mariña Lucense.

Las diferencias que se observan entre las distintas variedades de patata son numerosas, pudiéndose destacar: el área foliar que se desarrolla bajo unas determinadas condiciones ambientales, el tamaño del sistema radicular, la época de inicio de la tuberización y el grado en que los fotoasimilados son derivados para el crecimiento del tubérculo bajo diferentes condiciones de fotoperíodo y temperatura. Todo ello conduce a que la producción y el porcentaje de materia seca en los tubérculos varíen, de unas variedades a otras, en respuesta a unas condiciones exteriores determinadas (Burton, 1989).

Las variedades Kennebec y Agria son las más cultivadas en Galicia y en particular en la comarca de A Limia. La variedad Kennebec se destina al consumo en fresco y es, como se ha señalado, la única amparada por la IGP "Patata de Galicia". La variedad Agria se destina preferentemente a la industria de patata frita.

La variedad Kennebec es una variedad de media estación, de piel amarillo-pálido y carne blanca, de forma regular y ojos superficiales. En cuanto a su calidad culinaria, queda firme al cocer y con un color bastante puro. El rendimiento suele ser bueno o muy bueno. En un ensayo llevado a cabo en Australia con 31 variedades de patata, Williams y Strange (1991) sitúan la variedad Kennebec entre las cuatro más productivas, presentando además una excelente calidad. Por último, se trata de una variedad poco sensible a la Phytophthora (que provoca el mildiu, se forman en las hojas unas manchas que al principio son pardas y luego se vuelven negras), de hoja y del tubérculo y poco sensible al virus Y (virus que comienza con una clorosis, seguida de una necrosis y finalizando en la muerte prematura de las plantas).

La variedad Agria es también semitemprana. Los tubérculos son de piel y carne amarillenta. Tiene mejores aptitudes que la Kennebec para fabricación de patatas fritas, por su bajo contenido en azúcares reductores, que favorece un color dorado del producto frito.

De las variedades autóctonas de Galicia han llegado a nuestros días (Gómez, 2006) tres: Fina (Bergantiños, A Coruña), Cazona (Terra Chá, Lugo) y Ganade (A Limia, Ourense).

2.1.5.- Composición química

La patata es la base de la alimentación de millones de seres humanos y contiene muchos nutrientes esenciales. Tiene un contenido aproximado del 20-22% de materia seca, de la cual un 82% son hidratos de carbono, principalmente almidón, con algunas fibras y pequeñas cantidades de azúcares. El contenido de proteínas es de aproximadamente 2% del peso fresco y contiene también diversas vitaminas y minerales esenciales, siendo una fuente de vitamina C, tiamina, niacina, riboflavina, ácido fólico, potasio y hierro (FAO, 1990). La proteína de la patata es de alta calidad nutritiva, con un contenido relativamente elevado de lisina. La composición nutricional de la patata depende de la variedad, el clima, el suelo y otros factores ambientales.

2.1.6.- Aprovechamientos del cultivo

El cultivo de la patata se realiza generalmente para su aprovechamiento en alimentación humana, aunque se puede utilizar además para alimentación del ganado o como materia prima para su transformación industrial. Diversos usos industriales de la patata, incluyendo la producción de alcohol, se basan en su elevado contenido de almidón. Para su utilización en la industria de patatas fritas (en láminas o barritas) es de primordial importancia la calidad de los tubérculos, en particular el porcentaje de materia seca y la concentración de azúcares reductores.

Los destinos principales de la producción de patata en España en el año 2002 pueden verse en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6.- Destino de la producción de patata en España (M.A.P.A., 2003)

AÑO 2002 - DATOS EN TONELADAS				
Producción total	Reserva para consumo propio			Ventas
	Siembra	Pienso	Alimentación humana	
3.078.140	20.999	116.695	344.272	2.956.174

Como puede verse, las explotaciones productoras dedican la mayor parte de la producción a la venta, la cual representa un 84,3%, dentro de la que una inmensa mayor parte irá destinada al consumo humano. El resto de la producción queda en la explotación y se dedica un 0,7% a la siembra, un 3,8% para la alimentación animal y un 11,2% al autoconsumo, lo que de nuevo representa un mayor peso del consumo humano.

A continuación se desglosan los principales aprovechamientos por separado:

a) **Consumo humano:** el consumo anual por hogar y habitante en España está en constante regresión, según se puede observar en los datos ofrecidos por la Encuesta Continua de Presupuestos Familiares del Instituto Nacional de Estadística.

Tabla 2.7.- Evolución del consumo de patata en España (I.N.E., 2004)

Datos en kg/año	1998	1999	2000	2001	2002
Consumo por hogar	108,9	107,7	103,8	102,7	95,5
Consumo por persona	33,7	34,0	33,6	33,9	32,1

Se trata de una evolución normal, en relación directa con la elevación del nivel de vida, que conduce a un consumo más elevado de productos de origen animal (carne, productos lácteos), frutas y verduras.

Para el caso particular de Galicia, hay que destacar que en 1997 el consumo anual de patata por habitante era algo superior al doble de la media de España, el cual estaba establecido en 36 kg (MERCASA, 1998).

b) **Alimentación del ganado:** constituye la segunda utilización en importancia del tubérculo. El empleo en este aprovechamiento variará según la abundancia de la cosecha, ya que, aunque la patata puede ser cultivada especialmente para su utilización forrajera (con

el empleo de variedades de gran rendimiento), todos los sobrantes de otras producciones pueden servir de alimento para los animales (tubérculos pequeños, dañados o defectuosos en general).

La patata es más interesante para la alimentación de los cerdos, pero puede ser empleada para todos los animales domésticos, comprendidas las aves, a condición de complementarla con materias nitrogenadas y minerales. Parece conveniente distribuirla cocida, ya que así la cantidad de almidón digerida por los animales aumenta sensiblemente (Darpoux y Debelley, 1969).

Un ejemplo del uso de la patata para la alimentación animal, y en concreto para aves, lo tenemos en la tradicional producción de los "capones de Vilalba", en la cual se usa la patata cocida amasada con harina de maíz y agua durante el cebado de los animales.

c) **Feculería y destilería:** esta industria busca particularmente variedades más bien tardías, con grandes tubérculos y fuerte contenido en fécula de grano grueso, pero utiliza también todos los deshechos impropios para el consumo humano (Jiménez, 1994).

Después de su fermentación, la patata puede proporcionar, por destilación, alcohol de uso industrial, con un rendimiento medio de 12 litros de alcohol puro por cada 100 kg de patatas (Darpoux y Debelley, 1969).

d) **Otros usos:** el almidón de la patata se utiliza para fabricar papel y textiles y es el más usado para el acabado del algodón. También se utiliza en la industria alimentaria, ya que por hidrólisis del almidón se produce glucosa, mientras que por la tostación se producen dextrinas y gomas. Se utiliza para la fabricación del vodka ruso (Guerrero, 1984).

2.1.7.- Fases de desarrollo de la planta

El ciclo vegetativo de la patata puede dividirse en varias fases (Figura 2.5). La duración de cada una de estas fases depende de la variedad y de las condiciones ambientales. A lo largo del desarrollo del cultivo varían sus necesidades de agua y de nutrientes. En la fase I, el cultivo es muy sensible a la humedad, que debe ser suficiente pero no excesiva. La mayor necesidad de agua se presenta durante el desarrollo de los tubérculos (fase IV). Es también en esta fase cuando se produce la mayor absorción de nutrientes.

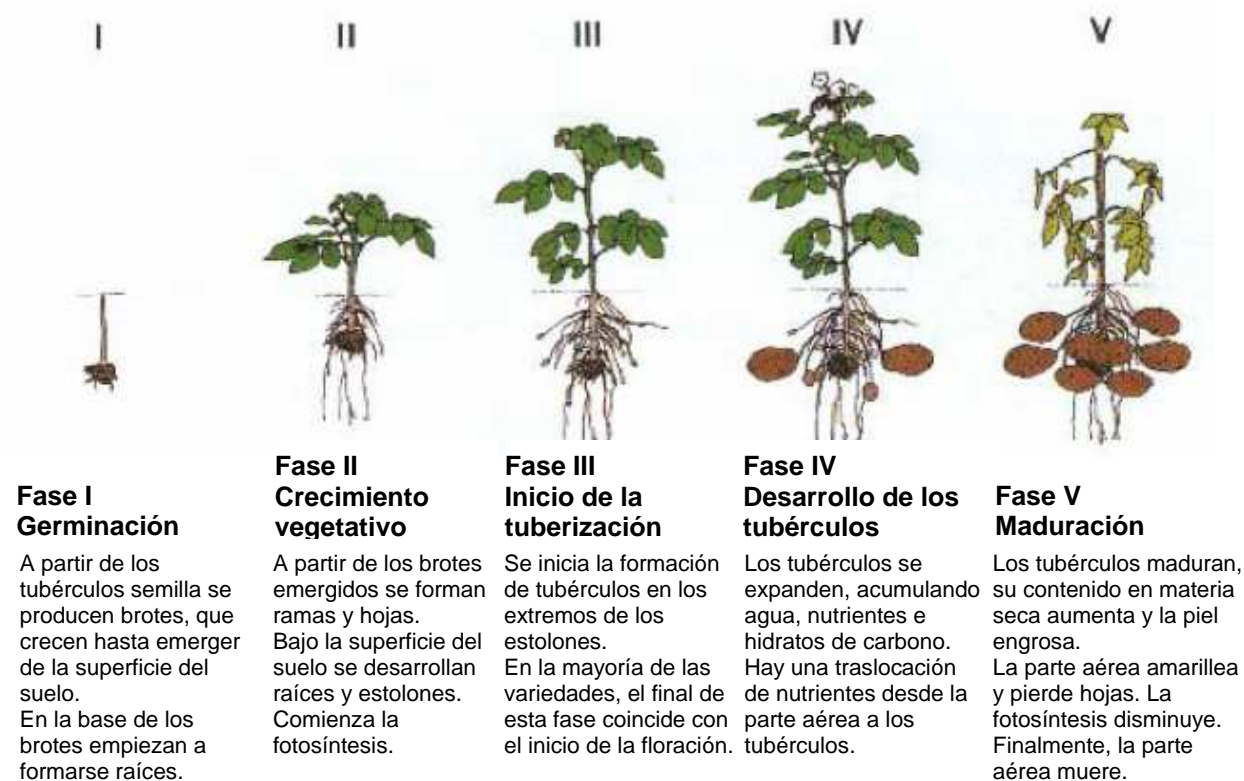


Figura 2.5. Fases del desarrollo de la patata (tomado de Rowe, 1993)

2.2. - REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

2.2.1.- Suelo

El cultivo de patata requiere determinadas características del suelo, tanto en relación con sus propiedades físicas como químicas. Los **suelos** de textura franco-arenosa, con un buen nivel de materia orgánica y buena permeabilidad son los más favorables para el desarrollo de este cultivo. Por el contrario, la planta se desarrollará mal en suelos muy arcillosos y compactos.

Para que el desarrollo de las raíces sea adecuado se requiere un suelo suelto, friable, bien drenado y aireado, pero con un adecuado suministro de agua. Hay que tener en cuenta que con la mecanización se produce la compactación del terreno, lo que restringe el drenaje y la profundización de las raíces, pudiendo llegar a limitarse el crecimiento de éstas a los 40-50 cm superiores (Boone *et al.*, 1985; Stevens y Hammond, 1992).

En cuanto a las propiedades químicas, deben destacarse los valores de pH, capacidad de intercambio catiónico y riqueza en nutrientes.

pH

La patata es un cultivo que tolera un pH bajo en el suelo. Según Alonso Arce (1996), el rango de pH en agua óptimo para el cultivo de la patata es de 5,5-6,5, mientras Porta *et al.* (1994) lo sitúan entre 4,5 y 7,0. Lema (1996) propone como óptimo el rango de 5,2-5,6 para el pH en agua y valores iguales o inferiores a 4,8 para el pH en KCl.

El pH influye en la disponibilidad de macro y micronutrientes. A pH ácido se pueden presentar síntomas de deficiencia de calcio principalmente. Por el contrario, la disponibilidad de Mn, Zn y Cu, se reduce al aumentar el pH. También elementos tóxicos como Cd y Ni están más disponibles a pH ácido, mientras que la disponibilidad del Se aumenta a pH alcalino (Oborn *et al.*, 1995). Por otra parte, el pH es un factor primordial para controlar la sarna común de la patata, cuya incidencia se reduce a pH ácido, siendo recomendable, por tanto, mantener el pH próximo a 5,5 (Alonso Arce, 1996). Otros autores (Lacey y Wilson, 2001) sitúan entre 5,0 y 5,2 el umbral para suprimir la sarna común. Asimismo la sarna común se reduce por la presencia de manganeso (McGregor y Wilson, 1966) y cuando la fuerza iónica de la disolución del suelo es baja (Mizuno *et al.*, 1995), lo que es habitual en los suelos de Galicia (Calvo *et al.*, 1987).

Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente que más frecuentemente determina la producción vegetal, ejerciendo en el caso de la patata un importante papel en la producción y mantenimiento de una cubierta vegetal óptima para el desarrollo de los tubérculos. La riqueza del suelo en nitrógeno está muy relacionada con su contenido de materia orgánica.

Fósforo

El fósforo es el segundo nutriente limitante de la producción (Jiménez, 1994), estimula el desarrollo del sistema radicular de la planta de patata (Domínguez Vivancos, 1997) y acelera la maduración, contribuyendo a la tuberización y al desarrollo temprano de la cosecha.

Ejerce, por otra parte, una gran influencia sobre los rendimientos, induciendo la formación de un mayor número de tubérculos por planta (Beukema *et al.*, 1979). Además van der Zaag (1987) señala la influencia favorable del fósforo sobre aspectos de calidad (gusto, contenido en almidón, dureza de la piel), así como sobre la resistencia a enfermedades causadas por virus.

Se conoce también la influencia favorable del fósforo sobre aspectos de calidad (gusto, contenido de almidón, dureza de la piel).

Potasio

El **potasio** juega un papel importante en el mantenimiento del tono, vigor y eficiencia de la planta de la patata. El cultivo de patata absorbe grandes cantidades de este elemento, importante para la síntesis de azúcares y almidón y la traslocación de carbohidratos y, por tanto, para la obtención de elevadas producciones de tubérculo (Harrison *et al.*, 1982; Rhue *et al.*, 1986; Westermann *et al.*, 1994a). Las elevadas intensidades de absorción de potasio por parte de la patata hacen que sea reconocida en ocasiones como una planta indicadora de la disponibilidad de este nutriente (Ulrich y Fong, 1969), caracterizándose las plantas deficientes en potasio por el amarilleamiento de las hojas más viejas, que evoluciona hacia una necrosis del tejido.

El potasio también juega un rol importante en la susceptibilidad a la decoloración enzimática o "black spot". Los tubérculos deficientes en potasio tienden a decolorarse más que aquellos que reciben un adecuado suministro (Mulder, 1956).

Chapman *et al.* (1992) presentan como "crítico" y "normal" para cultivo de patata los valores de $0,26 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (100 mg kg^{-1}) y $0,51 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (200 mg kg^{-1}) de potasio de cambio en el suelo, respectivamente. Panique *et al.* (1997) establecen un valor crítico de 104 mg kg^{-1} de potasio asimilable para el cultivo de patata.

De acuerdo con Harrison *et al.* (1982), puede considerarse como óptimo para obtener un buen rendimiento y calidad de tubérculos un 5% de K en el complejo de cambio. Lema (1996) propone un 3% como valor umbral.

Calcio y magnesio

La patata no es un cultivo muy exigente en calcio, de ahí su buena adaptación a suelos ácidos. Según van Lierop *et al.* (1982), $0,7 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ de **calcio** de cambio son suficientes para el suministro de este nutriente. Por otra parte, elevadas concentraciones de calcio de cambio favorecen la incidencia de sarna común. Según Lacey y Wilson (2001) no se observa sarna común cuando la suma de Ca, Mg y K de cambio es inferior a $12 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. Lema (1996) propone un porcentaje de calcio relativo a la suma de cationes inferior al 85% como óptimo para el cultivo de patata.

En cuanto al magnesio, niveles inferiores a $0,4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ de magnesio de cambio se consideran insuficientes para mantener el cultivo de la patata (Doll *et al.*, 1973; Ministerio

de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido, 1987). Según Lema (1996), las mejores condiciones para la disponibilidad de **magnesio** para el cultivo de patata se reúnen cuando la concentración en el complejo de cambio supera los $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y la participación en el mismo es mayor del 5%, siempre y cuando no se presenten graves desequilibrios con calcio, potasio o aluminio, que impedirían la absorción. Esta autora propone el valor de $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ como crítico para el cultivo de la patata.

El magnesio es esencial para la síntesis de proteínas y como activador de sistemas enzimáticos. Debido a su papel en el metabolismo de los fosfolípidos se asocia su escasez a la decoloración enzimática de los tubérculos (Mondy y Munshi, 1993).

Micronutrientes

La patata es clasificada por Alloway (2004) como un cultivo con sensibilidad media a la deficiencia de cinc y altamente sensible a la deficiencia de manganeso. La deficiencia de cinc es común en suelos arenosos y pobres en materia orgánica (Alloway, 2004). También es común observar deficiencia de cinc en plantas que crecen en suelos con restricciones para la penetración de las raíces, como la presencia de suela de labor o capa freática próxima a la superficie.

2.2.2.- Clima y disponibilidad de agua

El clima es un condicionante clave a la hora de determinar el desarrollo de la planta de patata y, por consiguiente, la producción de tubérculo. A continuación se analizan por separado los factores del clima que resultan más influyentes:

a) Temperatura:

El rango óptimo de temperaturas para el desarrollo de la patata se sitúa en $15-20^\circ\text{C}$ y el operativo en $5-30^\circ\text{C}$, fijándose el valor estándar en 20°C de temperatura media durante la estación de crecimiento (FAO, 1978). De acuerdo con Caldiz *et al.* (2002), el desarrollo no tiene lugar cuando la temperatura mínima está por debajo de 5°C o la máxima por encima de 30°C .

El efecto de la temperatura varía con el estado de desarrollo del cultivo (Jiménez, 1994). La emergencia está favorecida por la temperatura, siendo incompleta hasta los 10°C y óptima a 18°C . El desarrollo de la cubierta vegetal también está influido por la temperatura, aumentando con ésta la longitud de los tallos y el número de hojas por tallo (Marinus y Bodlaender, 1975). Bajo condiciones no limitantes de radiación, la temperatura

óptima para la fotosíntesis bruta es de 32°C, mientras que para la neta es de 16-25°C, ya que las pérdidas respiratorias aumentan con la temperatura, duplicándose por cada incremento de 10°C (Sale, 1974). En lo que se refiere a la **formación y desarrollo de los tubérculos**, se ven favorecidos por temperaturas moderadamente frías de noche y sólo moderadamente cálidas de día. La iniciación de la tuberización está favorecida por temperaturas considerablemente inferiores a la óptima para la fotosíntesis, citándose como umbral superior para este proceso la temperatura de 20°C (Marinus y Bodlaender, 1975). Las altas temperaturas reducen la translocación de sustancias al tubérculo y favorecen el desarrollo de los tallos de la planta. La formación del tubérculo se ve retrasada por unas temperaturas elevadas, pero normalmente la cuantía de la producción total acabará siendo mayor, al desarrollarse más la parte aérea y disponer la planta de más nutrientes para el desarrollo del tubérculo.

b) Precipitación:

La cantidad de agua con la que la planta cuenta para su desarrollo tiene un efecto determinante. Se puede destacar la influencia conjunta de agua y temperatura sobre algunas características del cultivo. Así, por ejemplo, el porcentaje de materia seca se ve favorecido en veranos cálidos y secos (Haverkort y Harris, 1987).

En zonas donde la precipitación es escasa durante el desarrollo del cultivo, la aplicación de riego es crucial para obtener buenos rendimientos.

La **disponibilidad de agua** es esencial para lograr cosechas abundantes, de tal forma que la variabilidad en las mismas entre años y entre parcelas se asocia frecuentemente con diferencias en la disponibilidad del agua en el suelo (Gregory y Simmonds, 1992).

La falta de agua suficiente causa una reducción en la producción de materia seca, limita el desarrollo del cultivo y acelera el envejecimiento del mismo. Por su lado, la abundancia de agua provoca un desarrollo vegetativo exuberante, un retraso en la tuberización y un descenso en el porcentaje de materia seca de los tubérculos, impidiendo al mismo tiempo la maduración de los mismos (Beukema y Zaag, 1979; van der Zaag, 1987).

La escasez de agua reduce la fotosíntesis, a consecuencia de que induce el cierre de estomas, disminuyendo la transpiración. Sin embargo, la eficiencia fotosintética sólo decrecerá en condiciones de sequía extrema (Vos y Groenwold, 1987).

c) Luz solar:

Una planta expuesta a un fotoperíodo de días largos tendrá un mayor desarrollo, al poder realizar la fotosíntesis durante más horas al día. Sin embargo, esto provoca una mayor concentración de giberelinas en la planta, lo cual produce un retraso en la tuberización (Cutter, 1992). Las plantas sometidas a días cortos forman los tubérculos antes que aquellas sometidas a días largos (Chapman, 1958; Slater, 1963).

2.2.3.- Necesidades de nutrientes

Las necesidades nutritivas varían con la fase de desarrollo vegetativo. En la **fase I** (Figura 2.5) todas las necesidades nutritivas de la planta son cubiertas por el tubérculo semilla. En la **fase II** comienza la fotosíntesis; el sistema radicular está poco desarrollado, de modo que la absorción de nutrientes es pequeña en comparación con las fases siguientes.

La mayor absorción de nutrientes se produce durante la expansión de los tubérculos, que acumulan agua, elementos nutritivos e hidratos de carbono (**fase IV**). En esta fase, que se inicia aproximadamente 50 días después de la emergencia y se prolonga otros 50 días, la actividad fotosintética aumenta considerablemente. En ella tiene lugar la mayor parte del desarrollo del tubérculo y las plantas acumulan casi dos tercios del total de nutrientes absorbidos durante su ciclo. Esta mayor capacidad fotosintética, que depende en gran parte de la superficie foliar alcanzada en la fase anterior, y el transporte o migración de productos fotosintetizados (principalmente hidratos de carbono) al tubérculo son las características fundamentales de esta fase (Domínguez Vivancos, 1997).

En la **fase V** los nutrientes móviles son traslocados de la parte aérea a los tubérculos, mientras la absorción de nutrientes del suelo es muy pequeña. Durante esta fase se produce una ralentización de la fisiología de la planta, apareciendo un amarilleamiento de la porción aérea, con una senescencia de las hojas y una tasa de crecimiento mucho menor.

Las necesidades de macro y micronutrientes por el cultivo de patata pueden estimarse a partir de las concentraciones de estos elementos en el material vegetal (Tabla 2.8).

Tabla 2.8.- Concentraciones adecuadas de nutrientes sobre peso seco en el material vegetal de la patata (Epstein, 1972)

	Molibdeno	Cobre	Cinc	Manganeso	Hierro	Boro	Cloro
ppm	0,1	6	20	50	100	20	100
	Azufre	Fósforo	Magnesio	Calcio	Potasio	Nitrógeno	-
%	0,1	0,2	0,2	0,5	1,0	1,5	-

Los micronutrientes presentan una concentración igual o inferior a 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ (ppm), mientras que en el caso de los macronutrientes la concentración es igual o superior a 1 mg g^{-1} (0,1%).

En cuanto a las extracciones que realiza el cultivo durante su ciclo vegetativo, éstas van a depender de muchos factores (variedad, condiciones climáticas, características del suelo, etc.), pero pueden darse unos valores medios en función del abonado nitrogenado y la producción, que son los recogidos por la siguiente Tabla 2.9.

Tabla 2.9.- Extracciones elementales de la patata (Harris, 1992)

N aportado (kg ha^{-1})	Producción (t ha^{-1})	N	P	K
		(kg t^{-1})		
0	11,95	2,81	0,50	5,41
94	19,57	3,26	0,46	5,24
188	22,74	3,57	0,45	4,73

2.3.- FERTILIZACIÓN INORGÁNICA Y ORGÁNICA DE LA PATATA

El cultivo intensivo de patata es objeto habitualmente de fuertes aplicaciones de fertilizantes, particularmente potasio y nitrógeno. La fertilización es en gran medida responsable del considerable aumento de productividad de este cultivo observado en las últimas décadas. El objetivo principal de la fertilización es satisfacer las necesidades nutritivas de las plantas, para lograr un óptimo desarrollo y rendimiento del cultivo.

Numerosos estudios investigan a lo largo del siglo XX la influencia de la fertilización en el rendimiento del cultivo de patata (Lorenz, 1944; Gardner y Jones, 1975; Lauer, 1986; Rhue *et al.*, 1986; Porter y Sisson, 1991a; Westermann *et al.*, 1994a). Durante años las recomendaciones de fertilización se basaron en criterios económicos, con el objetivo de producir al menor coste posible cosechas abundantes y de calidad.

Si bien el aporte de nutrientes es imprescindible para la obtención de cosechas abundantes y de calidad, una fertilización excesiva puede tener efectos adversos sobre el rendimiento y calidad de los tubérculos. La influencia negativa sobre el rendimiento se relaciona principalmente con desequilibrios nutricionales. Ya en el siglo XIX existen referencias a la importancia del equilibrio entre nutrientes y la disminución del rendimiento de los cultivos por el exceso de algún elemento nutritivo (Wolff, 1868; citado por Wittwer *et al.*, 1946). Desde comienzos del siglo XX son frecuentes las investigaciones sobre este tema (Wittwer *et al.*, 1946). Diversos estudios se refieren a estas interacciones entre nutrientes en el cultivo de patata (Herlihy y Carroll, 1969; Yli-Halla *et al.*, 1987; James *et al.*, 1994; Westermann *et al.*, 1994a; Jenkins y Mahmood, 2003). La disminución del rendimiento por una fertilización excesiva puede relacionarse asimismo con un aumento de la salinidad (Crozier *et al.*, 2000). Un exceso de fertilización puede causar también una mayor vulnerabilidad de los cultivos al ataque de enfermedades, que repercute tanto en la cantidad como en la calidad de la cosecha (Crozier *et al.*, 2000).

2.3.1. - Fertilización inorgánica

Nitrógeno

En cuanto a fertilización nitrogenada, suelen recomendarse aplicaciones de 100-200 kg N ha⁻¹ (Vos, 1997; Goulding *et al.*, 2001), pero con frecuencia se aplican dosis más elevadas. Las necesidades de fertilización nitrogenada dependen en gran medida no sólo de la reserva de nitrógeno en el suelo, sino también de la tasa de mineralización del nitrógeno orgánico en el curso del desarrollo del cultivo, cuya estimación entraña cierta dificultad (Rodrigues *et al.*, 2005). Por otra parte, las concentraciones crecientes de nitrógeno en aguas freáticas y superficiales de zonas de agricultura intensiva hacen que el aporte de nitrógeno con el agua de riego no sea despreciable y deba tenerse en cuenta a la hora de efectuar recomendaciones de fertilización (Darwish *et al.*, 2003). Según Sparrow y Chapman (2003a), diversas medidas del nitrógeno del suelo (nitrógeno mineral, mineralizable y total) no explican adecuadamente la respuesta del cultivo al nitrógeno, no siendo recomendables estas determinaciones para el diagnóstico del estado nutricional o predicción del rendimiento de cultivo. Por el contrario, Rodrigues (2004) indica que las determinaciones de nitrógeno nítrico o nitrógeno inorgánico del suelo permiten efectuar un buen diagnóstico del estado nutricional de la patata y realizar recomendaciones de abonado en cobertera.

La aplicación de nitrógeno favorece el desarrollo y la duración de las hojas, lo que permite incrementar la intercepción de la radiación y la producción de biomasa. Sin embargo, estos efectos positivos son parcialmente contrarrestados por un retraso en el desarrollo de los tubérculos (Porter y Sisson, 1991a). Por otra parte, un exceso de fertilización nitrogenada conduce a elevados niveles de nitrógeno residual en el suelo tras la cosecha, con el consiguiente riesgo de contaminación de acuíferos por nitrato movilizado del suelo. En A Limia es habitual la aplicación de 100 a 200 kg N ha⁻¹.

La fertilización nitrogenada influye no sólo en el rendimiento de tubérculos sino también en diversos factores de calidad de los mismos.

Dahlenburg *et al.* (1990) encuentran un efecto positivo de la fertilización nitrogenada, hasta 320 kg N ha⁻¹, en el rendimiento de tubérculos de la variedad Kennebec, en particular en lo que se refiere a tubérculos de mayor tamaño. Joern y Vitosh (1995a) reseñan incrementos del rendimiento hasta 112 kg N ha⁻¹. También Belanger *et al.* (2000) reseñan un efecto positivo de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento total y comercial de las variedades Russet Burbank y Shepody, variando la dosis de nitrógeno para un máximo rendimiento entre 150 y 250 kg N ha⁻¹. Similares resultados obtienen Sparrow y Chapman (2003b) y Zebarth *et al.* (2004) para la variedad Russet Burbank. Hegney y McPharlin (2000) refieren la respuesta positiva a la fertilización nitrogenada hasta 700 kg N ha⁻¹, para la variedad Delaware. Por el contrario, algunos trabajos señalan la ausencia de respuesta a la aplicación de nitrógeno (Darwish *et al.*, 2006) o incluso una disminución del rendimiento resultante de una excesiva fertilización nitrogenada (Westermann *et al.*, 1994a; Crozier *et al.*, 2000; Lin *et al.*, 2004; Ferreira y Gonçalves, 2007), así como una mayor incidencia de la *Rhizoctonia* asociada a elevados niveles de nitrógeno (Crozier *et al.*, 2000).

La fertilización nitrogenada produce un aumento del tamaño medio de los tubérculos (Dahlenburg *et al.*, 1990; Belanger *et al.*, 2002; Zebarth *et al.*, 2004) y una disminución de la densidad, según la mayoría de los autores (Dahlenburg *et al.*, 1990; Westermann *et al.*, 1994a; Belanger *et al.*, 2002; Sparrow y Chapman, 2003b; Long *et al.*, 2004; Zebarth *et al.*, 2004). Por el contrario, Joern y Vitosh (1995) encuentran que la fertilización nitrogenada no afecta a la densidad del tubérculo. Algunos autores (Dahlenburg *et al.*, 1990; Kolbe *et al.*, 1995a) señalan una disminución de la concentración de azúcares reductores con la fertilización nitrogenada, mientras otros (Zebarth *et al.*, 2004) no encuentran un efecto significativo sobre este parámetro. Westermann *et al.* (1994b) relacionan la aplicación de

nitrógeno con reducciones de las concentraciones de almidón y materia seca. Según Hegney y McPharlin (2000), el aumento del nitrógeno aplicado se traduce en una mayor resistencia a la desintegración de la patata cocida y un mayor oscurecimiento tras la cocción.

Con mayor frecuencia que los análisis de nitrógeno en el suelo, las determinaciones de nitrógeno (total o nitrato) en hoja y peciolo son una herramienta utilizada para el diagnóstico del estado nutricional del cultivo y cálculo de la dosis de fertilización nitrogenada a aplicar en cobertura (Porter y Sisson, 1991b y 1993; Maier *et al.*, 1994; Westermann *et al.*, 1994a; Belanger *et al.*, 2003; Rodrigues, 2004; Rodrigues *et al.*, 2005).

Las concentraciones de nitrógeno en tejido vegetativo descienden a lo largo de la estación de crecimiento, debido a la reducción en la tasa de absorción y a la dilución resultante del aumento de masa vegetal, que se acentúa con la translocación hacia los tubérculos (Gupta y Saxena, 1976). Por otra parte la acumulación de nitrógeno precede a la de materia seca, de modo que al finalizar la tuberización las plantas han tomado el 60% del nitrógeno pero sólo se ha acumulado un 20% de la materia seca, mientras que a finales del desarrollo del tubérculo las plantas contienen el 95% del total de N absorbido y el 95% de materia seca, aunque solamente se haya producido el 80% del desarrollo del tubérculo, que proseguirá en la maduración (Kleinkopf *et al.*, 1981).

Numerosos estudios relacionan la concentración de nitrógeno en planta de patata, en un período de crecimiento y órgano determinados, con las dosis de abonado (Giroux, 1986; McLean, 1983) y con los rendimientos (Holm y Nylund, 1978a y b; Evanylo, 1989), con el propósito de efectuar las recomendaciones de fertilización. En la bibliografía se publican valores o intervalos críticos (Gupta y Saxena, 1976; McLean, 1984; Roberts y Beaton, 1988) y niveles óptimos (Sanz *et al.*, 1982; Prummel *et al.*, 1984), para expresar concentraciones por encima de las cuales no se espera mejorar los rendimientos con suministros superiores; también se citan contenidos normales, o niveles obtenidos en plantas sanas de buenas producciones (Westermann, 1990).

Mackay (1989) señala el valor óptimo de $6,5\% \pm 0,22$ de nitrógeno en hoja para la variedad Russet Burbank cuando un 10% de las plantas están en floración (60-70 ddp en sus condiciones de ensayo). Sin embargo, Davidescu y Davidescu (1982) recogen los intervalos "normales" de Terig (1975), cifrados en concentraciones de nitrógeno en hoja del 3,8% en plena floración y 2-4% al inicio del engrosamiento del tubérculo. Por otro lado, Sanz *et al.* (1982) proponen el óptimo de 5,5% en hoja activa y de 2,41% en peciolo a los 56 ddp. Asimismo, McLean (1984) presenta concentraciones de nitrógeno en hoja desde el 5-

6% (etapa inicial) hasta 3-4% (desarrollo del tubérculo). Las concentraciones de nitrógeno encontradas por Westermann (1990) son de 4-5% cuando la planta tiene 30 cm de altura y de 3-5% en hoja activa y 2-3% en peciolo, cuando los tubérculos están a medio desarrollo. Interesantemente, Holm y Nylund (1978a y b) encuentran para el nitrógeno en peciolo una disminución gradual y prolongada desde 2,5-3,5% a los 53 días después de la plantación (ddp) a un 1,5% a los 123 ddp.

En un estudio realizado en la comarca de Bergantiños, Lema (1996) encuentra, para las variedades Kennebec y Baraka, valores de nitrógeno en hoja activa de 5,5-6,5% a los 45 ddp, experimentando un progresivo descenso a lo largo de la estación de crecimiento para llegar a concentraciones inferiores a 4% de materia seca a los 85 ddp (inicio de la fase de maduración). En cuanto al peciolo, presenta valores iniciales comprendidos entre 3-4%, que experimentan un descenso muy acusado a los 56-65 ddp, coincidiendo con el inicio del engrosamiento lineal del tubérculo, etapa desde la cual se mantienen prácticamente constantes y con valores inferiores al 2%.

Fósforo

La patata es un cultivo que presenta habitualmente una respuesta notable a la fertilización fosfatada (Allison *et al.*, 2001a). La extracción de fósforo por el cultivo es, por término medio, de 25 a 35 kg P ha⁻¹; sin embargo, la aplicación de fertilizantes fosfatados con frecuencia supera ampliamente esta cantidad (Davenport *et al.*, 2005). Roy *et al.* (2001) obtienen el máximo rendimiento de la cosecha con aplicaciones de 52 kg P ha⁻¹. Para suelos con niveles similares de fósforo asimilable, las recomendaciones de fertilización fosfatada varían ampliamente entre distintos países (Allison *et al.*, 2001a). En A Limia es habitual la aplicación de 100 a 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ (44 a 87 kg P ha⁻¹).

Lorenz *et al.* (1964) mencionan que no existe respuesta al abonado fosfórico si el suelo presenta más de 25 ppm de fósforo Olsen, mientras que para niveles inferiores a 15 ppm se aumentan los rendimientos con el aporte adicional de fósforo. Más recientemente, Allison *et al.* (2001a), en un estudio consistente en 22 ensayos en distintas zonas de Gran Bretaña, concluyen que no existe respuesta a la fertilización fosfatada cuando la concentración de fósforo Olsen en el suelo es igual o superior a 26 mg L⁻¹.

Las etapas más significativas para caracterizar el estado nutricional en relación al fósforo son los estadios tempranos de tuberización. Generalmente se acepta como adecuado el intervalo de 0,35-0,45% en peciolo (McCollum, 1978; Westermann y Kleinkopf (1984), si bien Mackay (1989) cita un valor óptimo de 0,45-0,50%. Sanz *et al.* (1982)

proponen un valor óptimo de 0,39% de fósforo en hoja activa a los 65 ddp. Westermann y Kleinkopf (1984) cifran en 0,22% P el valor crítico por debajo del cual la producción de materia seca es insuficiente para el desarrollo de los tubérculos. Por otra parte, Westermann (1990) estima "normales" unos valores de 0,2-0,4%, tanto para planta de 30 cm de altura como durante la etapa de desarrollo de los tubérculos. Lema (1996) en su estudio en la comarca de Bergantiños obtiene concentraciones de fósforo en hoja activa comprendidas entre 0,5 y 0,7% a los 45 ddp, para presentar contenidos de 0,37-0,43% en el inicio de la tuberización, descendiendo hasta valores inferiores a 0,2% a los 65 ddp. Asimismo, encuentra concentraciones de fósforo en peciolo que superan un 0,6% antes de la tuberización, varían entre 0,3 y 0,6% durante la iniciación de la tuberización, para descender a niveles inferiores a 0,2% a los 65 ddp.

Potasio

El potasio es un nutriente particularmente importante para el cultivo de patata, si bien las necesidades de este elemento son distintas para las diversas variedades (Kumar *et al.*, 2004). Aunque los valores críticos de potasio de cambio citados para la patata varían notablemente según los autores, la mayoría de éstos coinciden en que por debajo de 100 mg kg⁻¹ la respuesta al abonado es segura. Chapman *et al.* (1992) encuentran respuestas a la fertilización potásica de las variedades Russet Burbank y Kennebec con concentraciones de potasio asimilable (extraíble con bicarbonato sódico) en el suelo de hasta 300-400 mg kg⁻¹ y presentan como "crítico" y "normal" para cultivo de patata los valores de 0,26 cmol_ckg⁻¹ (100 mg kg⁻¹) y 0,51 cmol_ckg⁻¹ (200 mg kg⁻¹) de potasio de cambio en el suelo, respectivamente. Por el contrario, Abdel Gadir *et al.* (2003) no encuentran respuesta a la fertilización potásica en suelos con 200 mg kg⁻¹ de potasio asimilable. Panique *et al.* (1997) establecen un valor crítico de 104 mg kg⁻¹ de potasio asimilable para el cultivo de patata.

Westermann *et al.* (1994a) consiguen incrementos del rendimiento de la variedad Russet Burbank con aplicaciones de potasio de hasta 448 kg K ha⁻¹. Para la variedad Baraka, Fontes *et al.* (1996) encuentran respuesta a la fertilización potásica hasta 384 kg K₂O ha⁻¹. Por el contrario, Moinuddin *et al.* (2004), establecen en 150 kg K₂O ha⁻¹ el valor óptimo para cuatro genotipos de patata. De acuerdo con Allison *et al.* (2001b), la mayoría de los estudios publicados sobreestiman las necesidades de potasio de las patatas.

Lo mismo que el nitrógeno, la aplicación de potasio tiene efectos sobre la calidad del tubérculo. El aumento de la fertilización potásica incrementa el tamaño medio del tubérculo (Herlihy y Carroll, 1969; Moinuddin *et al.*, 2004) y causa disminuciones de la densidad del

mismo (Harrison *et al.*, 1982; Westermann *et al.*, 1994a; Panique *et al.*, 1997), de las concentraciones de almidón, azúcares reductores y materia seca (Herlihy y Carroll, 1969; Westermann *et al.*, 1994b) y de la incidencia de corazón hueco (Panique *et al.*, 1997). Harrison *et al.* (1982) obtienen mejor color de las patatas fritas al incrementar la fertilización potásica.

En la etapa de tuberización, Jackson *et al.* (1970) y Middleton *et al.* (1975) cifran el intervalo crítico en peciolo en valores de 9,5-11%, descendiendo la concentración de potasio durante el desarrollo del tubérculo, situándose el rango crítico en 9-10% a media estación y en 8-9% a finales de estación (Dow y Roberts 1982). Sin embargo Sanz *et al.* (1982) proponen el valor óptimo de 4,78% en hoja a los 60 ddp. Davidescu y Davidescu (1982) recopila de Terig (1975) que la composición es normal en el intervalo de 2,5 a 4,2% en la floración y de 2,7 a 3,3% cuando los tubérculos empiezan a formarse, mientras que Westermann (1990) estima normales concentraciones de 4 a 8% de potasio durante la formación de la cosecha.

Los resultados presentados por Lema (1996) comienzan con concentraciones de potasio en hoja del 4% hasta alcanzar valores entre 2,5-6,5% en la etapa de desarrollo de los tubérculos y llegar a niveles finales iguales o inferiores a los que presentaba la planta en estadios tempranos. Mientras que obtiene concentraciones de potasio en peciolo del 12% a los 45 ddp., para presentar un descenso acusado con concentraciones que oscilan entre 8-12% a los 56 ddp y 7-10% a los 65 ddp, para presentar valores de 6-8% a los 76 ddp.

Calcio y magnesio

No siendo la patata un cultivo muy exigente en calcio, la fertilización con este elemento no es habitual. En suelos ácidos, como es el caso de A Limia, suele realizarse un encalado ligero. La disponibilidad de calcio se relaciona con factores de calidad de la patata. Es bien conocida la incidencia de este elemento en la sarna común (Kazusighe, 1985). Algunos autores ponen de manifiesto el efecto beneficioso de la aplicación de formas solubles de calcio en relación con la reducción de la aparición de manchas internas en el tubérculo (Ozgen *et al.*, 2006)

Sanz *et al.* (1982) proponen concentraciones óptimas de calcio en hoja de 1,0-1,6%; Bergmann y Bergmann (1985) hablan de concentraciones en hoja activa de 0,5 a 2,0% y Westermann (1990) presenta valores entre 0,5 y 2,5%.

A lo largo del desarrollo del cultivo, Lema (1996) encuentra concentraciones de calcio en hoja de 0,5% a los 45 ddp, centrándose en torno a 0,5-0,8% a los 65 ddp. En cuanto a las concentraciones de calcio en peciolo, observa valores por debajo de 0,5%, entre 45-56 ddp, hasta alcanzar valores de 1,3-1,8% a los 76-85 ddp.

En cuanto al **magnesio**, Sanz *et al.* (1982) encuentran concentraciones en hoja y peciolo que varían de 0,8 a 1,0%. Westermann (1990) cita valores de 0,5-0,8% en hoja y de 0,5-1,5% en peciolo cuando los tubérculos están a medio desarrollo. Zaag (1987) afirma que los contenidos de magnesio en la porción aérea pueden ser muy variables durante el período de follaje máximo, y que son frecuentes contenidos del 0,3-0,4% en cultivos bien provistos. Considerando el desarrollo del cultivo, Lema (1996) encuentra concentraciones de magnesio en hoja que oscilan entre 0,3 y 0,4% antes del inicio de la tuberización, aumentando a 0,5% a los 56 ddp, para experimentar un descenso hasta contenidos de 0,2-0,3% en pleno engrosamiento del tubérculo (65 ddp). En peciolo, son inferiores a las de hoja activa, presentando a los 45 ddp valores de 0,15-0,30%, que descienden ligeramente en la siguiente etapa (0,3%).

2.3.2.- Fertilización orgánica

Diversos materiales orgánicos se han usado para el abonado de la patata en la agricultura tradicional y en la actualidad. En A Limia es habitual el uso de estiércol de pollo.

La influencia del abonado orgánico en el rendimiento y calidad del tubérculo resultan, por una parte, del aporte de nutrientes y, por otra, de los efectos de la materia orgánica sobre la estructura y otras propiedades físicas y físico-químicas del suelo. Estos últimos efectos se manifiestan únicamente después de períodos prolongados de aplicación de abonos orgánicos.

Entre los efectos a corto plazo de la fertilización orgánica, en comparación con la inorgánica, se ha citado la producción de tubérculos con mayores concentraciones de materia seca, almidón y ácido ascórbico y menor concentración de nitrato (Kolbe *et al.*, 1995b; Roinila *et al.*, 2003). Contrariamente a los resultados de Kolbe *et al.* (1995b), Ceylan *et al.* (2006) no encuentran influencia significativa del abonado orgánico sobre la concentración de ácido ascórbico en tubérculos.

Diversos estudios ponen de manifiesto un mayor rendimiento de materia fresca de la fertilización mineral comparada con la fertilización orgánica (Roinila *et al.*, 2003; Álvarez

et al., 2006). Este mayor rendimiento es compensado por la menor concentración de materia seca (Roinila *et al.*, 2003).

2.4.- EFECTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN

El uso de grandes cantidades de fertilizantes, así como de agroquímicos, puede tener efectos ambientales adversos. En la mayoría de los países europeos la agricultura aporta en la actualidad un exceso neto de nitrógeno y fósforo, lo que conduce a un incremento de las reservas de N y P en el suelo y al riesgo de emisión de estos elementos a masas de agua. La agricultura se encuentra en el origen de numerosos casos de contaminación de aguas superficiales y freáticas (Puckett, 1995; Costa *et al.*, 2002). En los últimos años se ha producido un interés creciente por los efectos ambientales de la aplicación de fertilizantes, de modo que los planes de fertilización deben tener en cuenta no sólo la cantidad y calidad de la cosecha producida, sino también la incidencia sobre el medio ambiente.

La patata es un cultivo que utiliza gran cantidad de agua, fertilizantes y energía. El cultivo de patata es relativamente ineficiente en la utilización del nitrógeno y el fósforo, de modo que es habitual la aplicación al suelo de cultivo de fertilizantes en exceso sobre las extracciones por la cosecha (Askew, 2005). En el caso del nitrógeno, la fuerte fertilización da lugar a elevadas concentraciones de nitrógeno residual en el suelo tras la cosecha, una parte importante del cual forma parte de los residuos de cosecha. Este nitrógeno orgánico es mineralizado y origina un importante riesgo de lixiviación de nitrato con las lluvias de otoño.

Las principales fuentes de nitrato en aguas subterráneas son la agricultura y la ganadería; en el caso de las aguas superficiales, hay que incluir además las aguas residuales urbanas e industriales. En diversas regiones europeas de intensa actividad agroganadera, la presencia de elevadas concentraciones de nitrato en aguas freáticas ha conducido a la imposibilidad de usarlas para el consumo humano. La elevada concentración de nitratos en el agua de consumo se considera peligrosa para la salud humana, particularmente para niños menores de un año. Puede interferir con el transporte de oxígeno en la sangre, causando *metahemoglobinemia* (síndrome del bebé azul; Golden y Leifert, 1999; Greer *et al.*, 2005). Por otra parte los nitritos, producidos por la reducción de nitratos en determinadas condiciones, pueden dar lugar a nitrosocompuestos (nitrosaminas y nitrosamidas), especies

de capacidad cancerígena probada. También existen estudios que ponen de manifiesto una relación entre la presencia de nitratos en el agua de consumo y el cáncer de estómago en adultos, y la diabetes en la infancia (Addiscott, 1996; McKinney *et al.*, 1999). Por estas razones la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las legislaciones de diversos países establecen limitaciones a la concentración de nitrato en aguas destinadas a la producción de agua potable. Concentraciones elevadas de nitratos también son tóxicas para el ganado, en el que pueden ser causa de metahemoglobinemia o provocar abortos. En aguas superficiales, el nitrógeno contribuye, junto con el fósforo y la materia orgánica, al proceso de eutrofización. Además el nitrato, lo mismo que el amonio, puede resultar tóxico para peces e invertebrados acuáticos, contribuyendo a la pérdida de biodiversidad en ecosistemas acuáticos. El mecanismo responsable de la toxicidad del nitrato para animales acuáticos es similar al que produce la metahemoglobinemia en mamíferos (Camargo *et al.*, 2005). Estos autores recomiendan concentraciones inferiores a 10 mg N nítrico L⁻¹ para evitar la toxicidad para invertebrados acuáticos, peces y anfibios y un valor umbral de 2 mg N L⁻¹ para proteger las especies más sensibles a la contaminación por nitrato. Las legislaciones española y europea no establecen límites de concentración en relación con la toxicidad para estos organismos.

El amonio, dado su carácter de catión, es más eficazmente retenido por el suelo que el nitrato. Sin embargo, cuando se presenta en el suelo en elevadas concentraciones, puede perderse igualmente pasando a las masas de agua, particularmente en suelos con baja capacidad de cambio de cationes o escaso espesor y en condiciones de elevadas precipitaciones. El amonio es tóxico para los peces y la presencia de concentraciones elevadas de esta especie en aguas superficiales las convierte en no aptas para la vida piscícola. Es también tóxico para el hombre, de modo que su concentración en aguas de bebida debe ser inferior a ciertos límites establecidos.

El fósforo ha sido considerado tradicionalmente por los agrónomos como inmóvil en los suelos. Durante décadas la principal cuestión relacionada con el fósforo en suelos agrícolas fue la fertilidad y producción de cosechas. El fósforo es un elemento escaso en muchas rocas que son materiales originales de suelos, de modo que la deficiencia de fósforo es muy común en suelos naturales. En suelos agrícolas el fósforo debe ser aportado generalmente con los fertilizantes. En particular, los suelos naturales de Galicia son muy pobres en fósforo.

Hasta época reciente, por tanto, no se prestó atención al riesgo de contaminación de medios acuáticos por fósforo de origen agrícola, al considerar este riesgo insignificante. El ión fosfato es, en efecto, retenido por diversos componentes del suelo, siendo incomparablemente menos móvil que el nitrato, particularmente a pH ácido. Sin embargo, en los últimos años diversos trabajos han puesto de manifiesto la movilidad de ciertas cantidades de fósforo de suelos agrícolas y ha crecido el interés por el fósforo en zonas agrícolas desde un punto de vista ambiental (Carpenter *et al.*, 1998; Sims *et al.*, 1998; Sharpley *et al.*, 2001).

La presencia de fósforo en aguas continentales superficiales es el principal factor responsable de los procesos de **eutrofización**. Se denomina eutrofización al enriquecimiento en nutrientes de las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, aguas marinas costeras), que da lugar a una proliferación de algas y plantas acuáticas, que a su vez lleva consigo una pérdida de transparencia del agua y disminución de la luz que llega a las capas situadas bajo la superficie de la misma; asimismo las algas y plantas acuáticas, al morir, se descomponen consumiendo oxígeno, lo que lleva a una disminución considerable del oxígeno disuelto y a una pérdida de biodiversidad; en ocasiones la proliferación de cianobacterias (algas verde-azuladas) produce la liberación al agua de sustancias tóxicas para otros organismos. En algunos casos el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas resulta indeseable porque dificulta el flujo del agua, tiene un efecto estético negativo o disminuye el valor recreativo del agua.

A pesar de que en los últimos años los vertidos de fósforo de origen doméstico a aguas superficiales en Europa y otros países desarrollados ha disminuido, las concentraciones medias anuales de fósforo disuelto en el 55% de los ríos europeos analizados en 1999 acusaron un incremento de más de $50 \mu\text{g P L}^{-1}$ con respecto al período 1992-96 (Crouzet *et al.*, 1999). Esta situación ha hecho que la preocupación se desplace a la agricultura como origen de la contaminación por fósforo. En áreas de agricultura intensiva se ha pasado en unas décadas de situaciones de déficit a situaciones de exceso de este nutriente en el suelo. Este es el caso de zonas agro-ganaderas de Galicia y de otras regiones de Europa, Norteamérica, Australia.

Bajas concentraciones de fósforo pueden producir eutrofización de aguas superficiales. Generalmente se considera la concentración de $0,1 \text{ mg P total L}^{-1}$ como umbral de eutrofización (USEPA, 1994). Algunos autores rebajan este umbral a $0,05$ ó $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. Las pérdidas de fósforo pueden ser irrelevantes desde el punto de vista de su efecto en la

fertilidad del suelo, pero considerables en relación con su efecto sobre las masas de agua (Taylor y Kilmer, 1980).

En A Limia los elevados aportes de fósforo al cultivo de patata conducen a elevados niveles de fósforo asimilable en el suelo y al riesgo de su movilización con las aguas de escorrentía o drenaje.

En cuanto a la fertilización potásica, en A Limia se aplican al cultivo de patata cantidades de fertilizantes que frecuentemente exceden las extracciones de la cosecha. El potasio es un elemento muy móvil en el suelo, fácilmente exportable a los medios acuáticos. Este elemento no es causa de preocupaciones de tipo ambiental, pero su aplicación por encima del óptimo agronómico supone un perjuicio de tipo económico.

La preocupación de la población por los efectos ambientales del exceso de nutrientes en ecosistemas agrarios ha crecido enormemente en las últimas décadas y ha dado lugar al establecimiento de medidas para reducir las pérdidas de nutrientes (Sharpley *et al.*, 2000; Melillo, 2002). La trascendencia de la posible contaminación de las aguas continentales por la actividad agraria trajo consigo la publicación de la Directiva 91/676/CEE (EC, 1991) sobre protección de las aguas contra la contaminación por nitratos de origen agrario y posteriormente el RD. 216/1996, que traspone dicha directiva al derecho español y obliga a las Comunidades Autónomas a tomar una serie de medidas para la prevención de este tipo de contaminación. Tanto la Directiva de nitratos (EC, 1991), como la Directiva de aguas de consumo (EC, 1980), establecen una concentración de nitratos máxima permitida de 50 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ (11,3 mg N. L^{-1}).

Dos factores fundamentales determinan la cantidad de nutrientes lixiviados desde el suelo: los nutrientes acumulados en el suelo en exceso sobre la cantidad requerida por las plantas y el volumen de agua de drenaje. La calidad de las aguas está controlada por factores tales como la geología, las características del terreno (pendiente, textura y estructura del suelo, espesor del mismo, contenido de coloides y capacidad de intercambio catiónico), el clima, así como por las prácticas agrícolas. Elevadas entradas de nutrientes (en forma de fertilizantes inorgánicos y estiércol), el laboreo frecuente, los períodos relativamente cortos de crecimiento de las plantas y la recuperación poco eficiente de los nutrientes por las cosechas hacen que los sistemas de producción vegetal sean altamente vulnerables a la lixiviación de nutrientes. El clima lluvioso así como el escaso espesor y la elevada permeabilidad de muchos suelos gallegos elevan el riesgo de lixiviación. Si bien no existe en el momento actual una situación generalizada de contaminación de los acuíferos

gallegos por nitratos, se han detectado en algunas zonas y épocas de muestreo concentraciones preocupantes de esta especie (López Periago, 1993; Vidal Bardán *et al.*, 1998; Fernández Marcos *et al.*, 2002 a y b).

Pese a ello, son escasos los estudios de contaminación ambiental de origen agrario en Galicia. Apenas existe información publicada sobre la pérdida de nitrógeno y fósforo de terrenos agrícolas y menos aún en lo que se refiere a contaminación por agroquímicos o metales pesados.

En 1991 la Xunta de Galicia publicó un estudio en el que se analizaron 70 muestras de aguas subterráneas (ITGE - Xunta de Galicia, 1991). De ellas, 16 superaron la concentración de 25 mg nitrato L⁻¹ y cinco alcanzaron concentraciones superiores a 50 mg L⁻¹, valor límite establecido por la Organización Mundial de la Salud y la legislación europea para aguas potables. El citado trabajo concluye que la mayor parte de las aguas subterráneas de Galicia se encuentran dentro de los límites de potabilidad reglamentarios.

El Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (SGMOPT, 1992) realizó un estudio para evaluar el estado de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas destinadas a abastecimiento en núcleos de más de 500 habitantes en Galicia. De las 51 muestras recogidas sólo 6 registraron síntomas de contaminación incipiente (10-25 mg L⁻¹).

Álvarez *et al.* (1989) y Macías *et al.* (1991) estudian la calidad de las aguas de la cuenca del río Umia (Pontevedra) y los impactos de origen agrario y urbano en la cuenca del río Ulla, respectivamente. En ambos ríos, los valores de pH se encuentran entre 5,8 y 7,7 y la conductividad es generalmente inferior a 0,2 dS m⁻¹. En la cuenca del río Umia, las concentraciones de nitrato medidas están generalmente por debajo de 15 mg L⁻¹, las de amonio por debajo de 1 mg L⁻¹ y la de fosfato alcanza como máximo 0,4 mg P L⁻¹. En el río Ulla, la concentración media de nitrato en varias fechas de muestreo es inferior a 1,5 mg L⁻¹, la de amonio no supera 0,6 mg L⁻¹ y la de fosfato se mantiene por debajo de 0,1 mg P L⁻¹.

Antelo y Arce (1996) presentaron datos de características físico-químicas de un elevado número de muestras de aguas de las cuencas hidrográficas de Galicia-Costa y Galicia-Interior. En este estudio se incluyeron algunas muestras tomadas en la cuenca del río Limia, pero sorprendentemente los autores no hicieron referencia a las actividades agrarias como posibles causantes de contaminación. En los casos en que determinados parámetros alcanzaron valores anormalmente elevados, lo atribuyeron a contaminación de origen urbano o industrial.

Díaz-Fierros (2003) presenta los resultados de análisis de aguas superficiales de la cuenca del río Carballas (Boqueixón, A Coruña), una zona ganadera. La concentración de nitrato aumenta con la concentración ganadera, llegando a superar los 5 mg L^{-1} , pero manteniéndose muy por debajo del límite de potabilidad (50 mg L^{-1}).

Resultados de un estudio reciente no publicado realizado por nuestro grupo de investigación en la cuenca del Río Magdalena (A Pastoriza), en el que se analizaron muestras de 45 aguas de pozo y 30 aguas superficiales a lo largo del 2002 con periodicidad trimestral, muestran valores de pH comprendidos entre 6,5 y 7,5 en aguas superficiales y entre 5 y 7 en aguas freáticas. Un 38% de los pozos presentaron un contenido medio de nitrato superior a 25 mg N L^{-1} , mientras que un 11% superaban la concentración máxima admisible para nitrato en aguas destinadas a consumo (50 mg N L^{-1}); las concentraciones de nitrato fueron considerablemente más bajas en aguas de ríos, en las que no se alcanzó en ningún caso el valor de 25 mg N L^{-1} . Estacionalmente resulta interesante destacar que las mayores concentraciones de nitrato fueron encontradas en invierno, hecho que se puede relacionar con el lavado de estas sustancias del suelo por las aguas de lluvia, más abundantes en esta estación. Las concentraciones de amonio, tanto en aguas freáticas como superficiales, superan en raras ocasiones el valor de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$, pero con frecuencia se encuentran por encima de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Un 30% de las aguas fluviales supera el valor de $0,1 \text{ mg P L}^{-1}$, considerado límite para la eutrofización, mientras que un 16% de las aguas de pozos supera el valor guía de $0,17 \text{ mg P L}^{-1}$.

2.5.- ANTECEDENTES DE ESTE TRABAJO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Entre los trabajos que estudian la fertilización en el cultivo de patata en la Península Ibérica cabe destacar la tesis de Jiménez Aguilar (1994) que lleva a cabo ensayos de fertilización con objeto de realizar una evaluación de suelos para este cultivo.

En estos ensayos se pone de manifiesto la influencia de la fertilización nitrogenada, fosfatada, potásica y magnésica en el cultivo de la patata. De los resultados de este trabajo cabe mencionar la influencia positiva de la aplicación de fósforo y nitrógeno sobre el rendimiento total del cultivo y sobre el peso medio de los tubérculos. Asimismo es destacable la interacción observada entre fósforo y magnesio.

Ferreira (1996) investigó la respuesta de este cultivo a la aplicación de agua y fertilización nitrogenada en un clima cálido y seco (NE Portugal). Entre otros resultados, este trabajo pone de manifiesto la influencia positiva del riego y su interacción con la fertilización nitrogenada en altas dosis (240 kg N ha^{-1} , 800 mm). El estudio revela asimismo que la aplicación de fertilización nitrogenada en condiciones de secano causa una depresión del rendimiento.

En Galicia, el único estudio publicado de fertilización en el cultivo de patata es el realizado por Lema (1996) en la comarca de Bergantiños, también con objeto de realizar una evaluación de los suelos para este cultivo.

Este estudio pone de manifiesto la importancia de la fertilización nitrogenada y potásica en este cultivo, así como las interacciones entre estos dos nutrientes.

En este trabajo se encuentra que una dosis moderada de fertilización potásica ($160 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) da lugar a mayores rendimientos que dosis más elevadas. Asimismo el aumento de la fertilización nitrogenada da lugar a una depresión del rendimiento si no va acompañada por la adecuada fertilización potásica.

Se señala también la importancia del fósforo para el cultivo y se recomienda fraccionar el abonado fosfatado en los suelos que presentan capacidad de fijación de fósforo.

Se resalta además en este estudio la importancia de ajustar la fertilización en función de análisis del suelo y análisis foliares y se destaca el interés de profundizar en los antagonismos entre nutrientes.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.- ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN

Se llevaron a cabo ensayos de fertilización NPK y mixta (estiércol de pollo + fertilizantes minerales) de cultivo de patata durante los años 1998, 1999 y 2000 en la finca que el Instituto Orensano de Desarrollo (INORDE) posee en el municipio de Sandiás (A Limia, Ourense), concretamente en la antigua Laguna de Antela. La localización de la finca se puede ver en el siguiente mapa (Figura 3.1).



Figura 3.1. Situación de la parcela de experimentación

3.1.1.- Características de los ensayos de fertilización

Se llevaron a cabo dos ensayos: uno de fertilización mixta (estiércol de pollo + fertilizantes minerales) y otro de fertilización exclusivamente mineral.

En el ensayo de fertilización mixta la variedad de patata empleada fue la Kennebec.

En el ensayo de fertilización mineral se usaron las variedades Kennebec y Agria (Figura 3.2), las más cultivadas en la comarca.

En ambos ensayos se utilizó un diseño factorial con tres repeticiones.

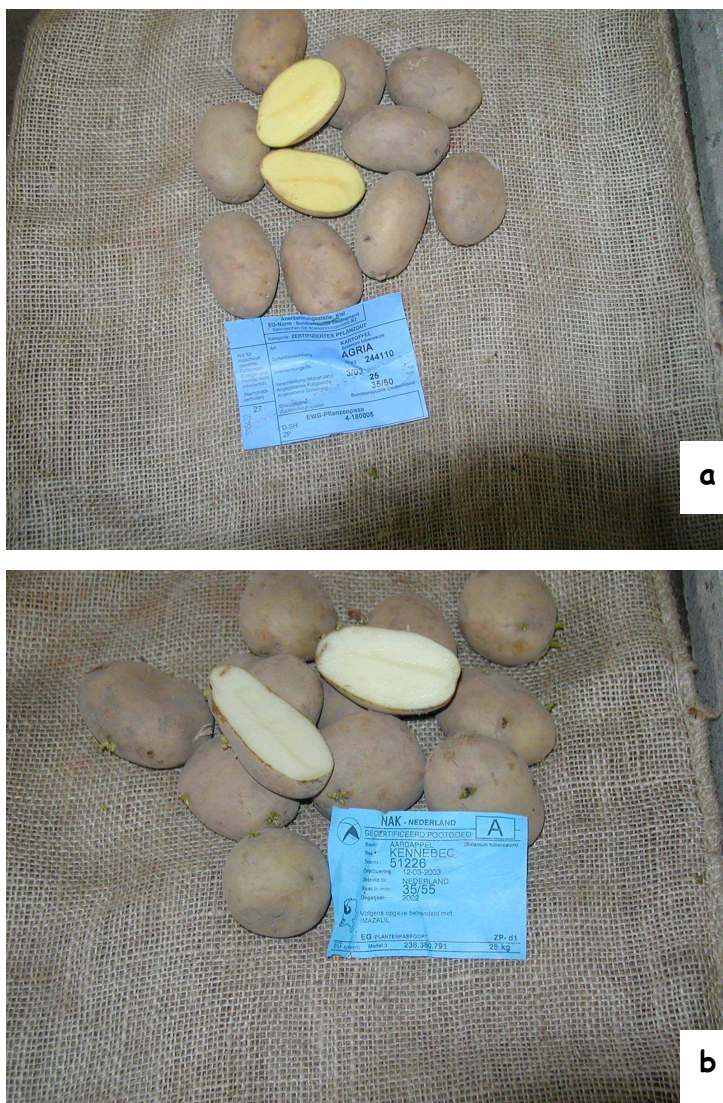


Figura 3.2. Fotos de las patatas de siembra de las dos variedades: Agria (a) y Kennebec (b)

a) Fertilización

a.1) Fertilización mixta

Se combinaron tres dosis de abono orgánico (15, 30 y 45 m³ ha⁻¹) con tres tratamientos de fertilización mineral (sólo potasio; potasio y fósforo; potasio, fósforo y nitrógeno, Tabla 3.1). Las parcelas se distribuyeron al azar. El ensayo se completó con un tratamiento de fertilización exclusivamente orgánica (O: 60 m³ estiércol ha⁻¹) y un

tratamiento de fertilización exclusivamente mineral (M: 300kg K₂O ha⁻¹, 108kg P₂O₅ ha⁻¹, 180 kg N ha⁻¹). Las parcelas control no recibieron ningún tipo de fertilización. La distribución de las parcelas, con sus respectivas dosis de abonado, puede verse en la Figura 3.3. Cada parcela tiene unas dimensiones de 6 x 6 m² (8 surcos con 18 plantas cada uno). Entre ellas se dejan pasillos de 2 m de ancho sin cultivar, como se indica en la Figura 3.3. En total el ensayo consta de 36 parcelas experimentales (Figura 3.3).

O3M2	O3M3	O3M1
O1M2	O1M3	O1M1
O2M2	O2M3	O2M1
O1M2	O1M3	O1M1
M	control	O
O3M2	O3M3	O3M1
O2M2	O2M3	O2M1
O3M2	O3M3	O3M1
O2M2	O2M3	O2M1
O1M2	O1M3	O1M1
control	control	M
O	O	M

Figura 3.3. Diseño de la parcela de fertilización mixta

Tabla 3.1.- Dosis de abonado orgánico y tratamiento de fertilización mineral

ABONO ORGÁNICO	FERTILIZACIÓN MINERAL
O1 = 15 m ³ ha ⁻¹	M1 = 250 kg K ₂ O ha ⁻¹
O2 = 30 m ³ ha ⁻¹	M2 = 250 kg K ₂ O ha ⁻¹ + 90 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
O3 = 45 m ³ ha ⁻¹	M3 = 250 kg K ₂ O ha ⁻¹ + 90 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + 104 kg N ha ⁻¹
O = 60 m ³ ha ⁻¹	M = 300 kg K ₂ O ha ⁻¹ +108 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ + 180 kg N ha ⁻¹

El abono orgánico utilizado es estiércol de pollo, un subproducto de las explotaciones avícolas, que se obtiene por la mezcla de la yacija o cama (generalmente viruta de pino) con las heces de las aves. Este producto se viene utilizando tradicionalmente, junto con

fertilizantes inorgánicos, en la comarca de A Limia como abono para el cultivo de patata. La dosis de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ es empleada habitualmente. Como es habitual en la comarca, el estiércol del pollo se dejó madurar en montones expuestos al aire durante aproximadamente dos meses antes de su aplicación.

Los fertilizantes minerales utilizados en ambos ensayos (de fertilización mineral y de fertilización mixta) fueron nitrosulfato amónico (27% de N), superfosfato simple (18% de P_2O_5) y cloruro potásico (60% de K_2O).

a.2) Fertilización mineral

El ensayo consta de dos subensayos paralelos, uno con variedad Kennebec (K) y otro con variedad Agria (A), intercalando ambas variedades en el diseño experimental (Figura 3.4). En cada uno de los subensayos se combinaron tres dosis de fertilización nitrogenada ($130, 180$ y 230 kg N ha^{-1}), dos dosis de fertilización fosfatada (100 y $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) y tres dosis de fertilización potásica ($150, 300$ y $450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, Tabla 3.2). Las dosis intermedias (180 kg N ha^{-1} , $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) son las empleadas habitualmente en la comarca. Las parcelas control no recibieron ningún tipo de fertilización. Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, cada parcela tiene unas dimensiones de $6 \times 6 \text{ m}^2$ (8 surcos con 18 plantas cada uno). Entre ellas se dejan pasillos de 2 m de ancho sin cultivar, como se indica en la Figura 3.4. En total el ensayo consta de 120 parcelas experimentales (Figura 3.4).

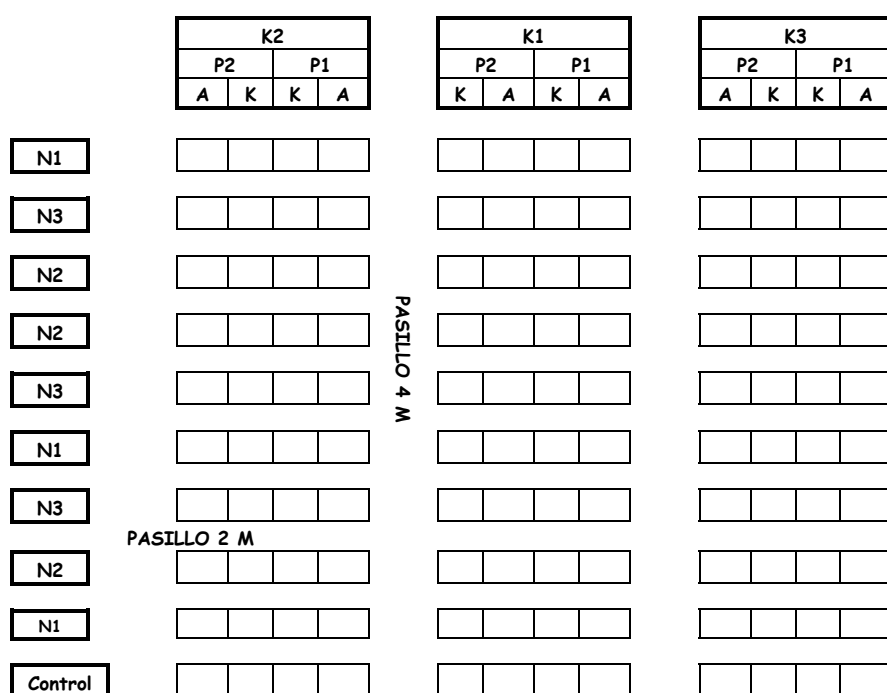


Figura 3.4. Diseño de la parcela de fertilización mineral

Tabla 3.2.- Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio

NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO
N1= 130 kg N ha ⁻¹	P1= 100 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	K1= 150 kg K ₂ O ha ⁻¹
N2= 180 kg N ha ⁻¹	P2= 200 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	K2= 300 kg K ₂ O ha ⁻¹
N3= 230 kg N ha ⁻¹		K3= 450 kg K ₂ O ha ⁻¹

b) Desarrollo del cultivo

En la Tabla 3.3 se presentan las fechas clave del desarrollo del cultivo en cada uno de los años y para cada tipo de ensayo.

Tabla 3.3.- Fases de desarrollo del cultivo

Fases de desarrollo	Fechas					
	1998		1999		2000	
	E. Mixta	E. Mineral	E. Mixta	E. Mineral	E. Mixta	E. Mineral
Plantación	14/05/98	20/05/98	20/04/99	11/05/99	16/05/00	18/05/00
Emergencia	08/06/98	08/06/98	27/05/99	08/06/99	30/05/00	30/05/00
Inicio de la tuberización	06/07/98	06/07/98	14/06/99	24/06/99	20/06/00	20/06/00
Fin de la tuberización	20/07/98	20/07/98	29/06/99	12/07/99	07/07/00	07/07/00
Cosecha	22/09/98	01/10/98	16/09/99	16/09/99	13/09/00	13/09/00

Las plantaciones se realizaron en las fechas indicadas en la Tabla 3.3, empleándose patata (entera) de siembra certificada. La labor se llevó a cabo con una plantadora semiautomática, utilizándose un marco de plantación de 75 cm entre surcos y 30 cm entre plantas de una misma línea (es decir, 4 plantas/m²).

La fertilización se realizó inmediatamente antes de la siembra. En el ensayo de fertilización mixta se aplicó primero el estiércol de pollo, que se incorporó con grada de discos, y, al día siguiente, el fertilizante mineral. En ambos ensayos, el fertilizante mineral se aplicó manualmente y se incorporó al suelo con la labor de preparación del terreno para la siembra.

Se aplicó riego con el objetivo de evitar el déficit de agua. El riego se llevó a cabo con un sistema de aspersión estacionario. Se aplicaron seis riegos en cada año de ensayo.

En general, la distribución de los mismos fue: dos en Junio, tres en Julio y un último a principios de Agosto, con un volumen total de unos 1500 m³ ha⁻¹.

La cosecha se realizó con una arrancadora-hileradora de plataforma móvil.

c) Tratamientos fitosanitarios

El mismo día de aplicación del abonado de fondo, se aportó también carbofurano, que tiene actividad insecticida, nematicida y acaricida, en una dosis de 10 kg ha⁻¹.

El herbicida de preemergencia se aplicó a finales de mayo, utilizándose un herbicida selectivo de hoja estrecha en forma de polvo mojable, cuya composición era a base de Metribuzin al 70% p/p, empleándose una dosis de 1 kg ha⁻¹.

En cuanto a las aplicaciones de insecticidas, hay que decir que se emplearon tres productos distintos. El primero, cuya materia activa es Cipermetrin al 20%, se aplicó dos veces en Junio y una en Julio, con una dosis de 250 g ha⁻¹ en cada aplicación. El segundo insecticida tenía como materia activa Imidacloprid al 20% p/v, éste se aplicó una vez en Junio y otra en Julio con una dosis de 100 cc ha⁻¹ en cada aplicación. Por último, en Julio también se dio un tratamiento con un insecticida cuya materia activa era Lufenuron 5% p/v, la dosis empleada fue de 500 cc ha⁻¹.

Los tratamientos funguicidas se realizaron durante los meses de Junio, Julio y Agosto. Entre Junio y principios de Julio se llevaron a cabo tres aplicaciones; el producto empleado estaba formado por Metalaxil al 8% y Mancozeb al 64%, utilizándose una dosis de 2 kg ha⁻¹. Desde mediados de Julio hasta la mitad de Agosto se dieron otros tres tratamientos funguicidas, en este caso la materia activa del producto estaba formada por Cimoxanilo al 3%, Cobre al 15% y Mancozeb al 10%, la dosis empleada fue de 3,5 kg ha⁻¹.

Para finalizar los tratamientos fitosanitarios, unos 10 días antes de la cosecha se realizó una aplicación de herbicida para "quemar" la parte aérea de la planta, la materia activa empleada fue Paracuat al 20% p/v y la dosis de 2 L ha⁻¹.

Para las aplicaciones de los productos fitosanitarios se empleó un pulverizador hidráulico.

3.1.2.- Toma de muestras

a) Suelo

Cada año de ensayo, el día anterior a la aplicación del fertilizante se tomaron muestras de suelo de la finca para realizar la caracterización inicial del mismo. Posteriormente, en cada uno de los ensayos se realizaron en los tres años cuatro muestreos, desde la emergencia del cultivo hasta la cosecha, con una frecuencia aproximada de 1 mes.

Las muestras de suelo se tomaron de la capa arable (0-20 cm), usando para ello una sonda de 20 cm. de longitud. En cada parcela se introducía la sonda en seis puntos, mezclándolas obteniendo así una muestra compuesta, excluyendo los dos caballones laterales con objeto de evitar el efecto borde. Por este motivo tampoco se tomaba muestra en dos franjas de un metro de anchura, en ambos extremos de los surcos.

Las muestras, secas al aire y tamizadas (< 2 mm), se conservaron para su análisis.

En el suelo inicial se tomaron también muestras no perturbadas, utilizando cilindros de acero, para la determinación de la densidad aparente.

b) Estiércol de pollo

Se tomó una muestra compuesta de la gallinaza empleada como fertilizante orgánico para determinar su composición nutricional, antes de la aplicación de la misma. También se tomó una muestra no perturbada de la gallinaza para conocer la densidad de la misma, dado que la aplicación se basa en una dosis expresada en $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. A continuación se muestran las principales características de la gallinaza empleada en los ensayos (Tabla 3.4).

Tabla 3.4.- Composición de la gallinaza

Composición expresada en g/kg de materia seca							pH-H ₂ O	Densidad
C	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO		t m ⁻³
284	21,4	2,7	58,0	27,9	11,3	21,6	6,4	0,44

El pH de la gallinaza es superior al del suelo en una unidad, con lo cual cabe esperar que la gallinaza ejerza un ligero efecto encalante.

Teniendo en cuenta la densidad de la gallinaza se pueden transformar las diferentes dosis de gallinaza de volumen a peso, quedando las cantidades indicadas en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5.- Dosis de gallinaza empleadas

Dosis	Volumen (m ³)	Peso (t)
O1	15	6,6
O2	30	13,2
O3	45	19,8
O	60	26,4

c) Vegetación

Se tomaron muestras de hojas y peciolo en tres fechas en el año 1998 y en cuatro fechas en los años 1999 y 2000, indicadas en la Tabla 3.6. Se tomó la cuarta y quinta hoja compuesta a partir del ápice (Mackay *et al.*, 1966) en tres plantas por parcela escogidas al azar, que se combinaron para obtener una muestra después de separar limbo y peciolo.

Tabla 3.6.- Fechas de recogida de la vegetación

	Fechas					
	1998		1999		2000	
	E. Mixta	E. Mineral	E. Mixta	E. Mineral	E. Mixta	E. Mineral
Inicio de la tuberización			14/06/99	24/06/99	30/06/00	30/06/00
Media tuberización	06/07/98	06/07/98	29/06/99	12/07/99	14/07/00	14/07/00
Fin de la tuberización	20/07/98	20/07/98	12/07/99	26/07/99	28/07/00	28/07/00
Final del ciclo	08/09/98	08/09/98	26/07/99	13/08/99	10/08/00	10/08/00

Se evitó recoger las plantas de los dos caballones laterales con objeto de evitar el efecto borde. Por este mismo motivo tampoco se tomó muestra en dos franjas de un metro de anchura, en ambos extremos de los surcos.

Las muestras se secaron a 60°C durante 48 horas (hasta peso constante), se separaron limbo y peciolo, se molieron finamente y se conservaron para su análisis.

En el momento de la cosecha, se recogieron los tubérculos de los cuatro metros centrales de los dos surcos del centro de cada parcela de cada uno de los dos ensayos. Los tubérculos se pesaron y calibraron, para obtener los rendimientos total y comercial.

Muestras de estos tubérculos se utilizaron para las determinaciones de composición química y parámetros de calidad de tubérculo.

3.1.3.- Determinaciones analíticas

3.1.3.1.- Suelo

a) Caracterización inicial del suelo

En la muestra del suelo que se tomó antes de realizar los tratamientos se realizaron las siguientes determinaciones:

Análisis granulométrico

Se empleó el método internacional de la pipeta Robinson (Gutián y Carballas, 1976), obteniéndose la distribución porcentual de las partículas individuales del suelo según su tamaño. A partir de esta distribución se determinó la textura del suelo, usando los criterios establecidos en la "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1975).

Composición mineralógica de la fracción arcilla

Se usa el procedimiento indicado por Gutián y Carballas, 1976. La fracción arcilla se separó mediante sedimentación, después de eliminar la materia orgánica y los óxidos de hierro y aluminio y dispersar, como en el caso del análisis granulométrico. Tras 8 horas de sedimentación, se retiran los 10 cm superiores de la suspensión por sifonado. El proceso se repite hasta que en los 10 cm superiores no queda prácticamente arcilla. La arcilla separada se muele en un mortero de ágata y las muestras se someten a un análisis por difracción de rayos X, mediante las técnicas de polvo cristalino y agregado orientado. El análisis se lleva a cabo en un difractómetro de rayos X de la marca Phillips modelo PW-1710 con ánodo de cobre, que utiliza la radiación K_{α} de este elemento. El aparato tiene un monocromador de grafito que elimina la radiación K_{β} .

Determinación de la densidad real y aparente de la fracción arcilla

Las densidades real y aparente del suelo fueron determinadas según los métodos recomendados por Gutián y Carballas (1976).

La densidad real se determina mediante un picnómetro con tolueno.

La densidad aparente se obtiene a partir del peso de una muestra de suelo no perturbada. Para la toma de muestras no perturbadas se utilizaron cilindros de acero de 5,5 cm de diámetro y 6 cm de altura.

La porosidad total del suelo se calculó a partir de las densidades real y aparente, siguiendo la fórmula:

$$Pt = 100 * (D_{real} - D_{aparente}) / D_{real}$$

Determinación del pH

Utilizando un pHmetro CRISON, modelo 2001, de electrodo combinado, se midió el pH en agua y en KCl 0,1M, con una relación suelo-disolución de 1:2,5 y con un tiempo de equilibrio de 10 minutos para el pH en H₂O y 2 horas para el pH en KCl, agitando repetidas veces durante este tiempo y durante la medición (Guitián y Carballas, 1976).

Complejo de cambio. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_e)

Los cationes de cambio se desplazaron con una disolución no tamponada de NH₄Cl 1M (Peech *et al.*, 1947).

El calcio y el magnesio se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, añadiendo LaCl₃ para evitar interferencias, y el sodio y el potasio por espectrofotometría de emisión de llama. Para esto se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2280.

El aluminio se determinó en el extracto de NH₄Cl con un espectrofotómetro de absorción atómica SpectraA 220 de Varian.

Sumando las concentraciones de Ca, Mg, Na, y K, expresadas en cmolc kg⁻¹, se obtuvo la suma de cationes alcalinos y alcalinotérreos (S). La capacidad de intercambio catiónico efectiva se calculó sumando a S el aluminio de cambio (Kamprath, 1970).

Determinación de fósforo asimilable

Se utilizaron dos métodos para determinar el fósforo asimilable, el método Olsen y el método Mehlich 3.

El método Olsen (Olsen y Sommers, 1982) extrae el fósforo con NaHCO₃ 0,5 M a pH 8,5 y es el utilizado habitualmente en los laboratorios que realizan análisis de suelos en Galicia. El método Mehlich 3 (Mehlich, 1984) se considera más adecuado para suelos ácidos (Fernández Marcos, 1997), además de ser más rápido y permitir el análisis de otros

elementos asimilables en el mismo extracto. En ambos casos se determinó el fósforo extraído mediante espectrofotometría visible con molibdato amónico, utilizando ácido ascórbico como reductor y midiendo la absorbancia del complejo azul fosfomolibdico a 880 nm en un espectrofotómetro visible-UV Shimadzu 1201V.

Determinación del carbono y nitrógeno totales

El carbono y nitrógeno totales se determinaron por combustión, utilizando un analizador automático LECO 2000. Para esta determinación se pesaron entre 0,1990 y 0,2020 g de suelo molido.

Determinación del pH en NaF

Se midió el pH en NaF con el objeto de conocer la existencia de materiales no cristalinos, utilizando un pHmetro CRISON, modelo 2001, de electrodo combinado. Para la medida se siguió el procedimiento descrito por Fieldes y Perrot (1966): a 1g de suelo se le añadieron 50 mL de una disolución de NaF 1M con pH entre 7,1 y 8,2. Se agitó durante 2 minutos y se hizo la primera medición, repitiéndose las mediciones a los 30 y 60 minutos. Valores superiores a 9 indican moderada presencia de materiales no cristalinos. Valores superiores a 10 ó a 11 indican, respectivamente, presencia abundante o muy abundante de materiales no cristalinos.

Estimación de la reserva de agua útil (RAU)

La reserva de agua útil del suelo se estimó utilizando la fórmula desarrollada por Martínez Cortizas (1988) para suelos de Galicia:

$$RAU = 24,06 + 10,83 \ln (IFG) + 6,8 \ln C$$

donde C es el porcentaje de carbono orgánico del suelo e IFG el índice de finos y gruesos, que se halla con la expresión:

$$IFG = (\% \text{limo fino} + \% \text{arcilla}) / (\% \text{limo grueso} + \% \text{arena})$$

b) Análisis del suelo a lo largo del ciclo del cultivo en los 3 años

En las muestras de suelo de cada parcela y muestreo se determinaron pH, cationes de cambio y capacidad de intercambio catiónico efectiva, C y N totales y fósforo asimilable,

por los procedimientos señalados para la caracterización inicial del suelo. En estas muestras se realizaron además los siguientes análisis:

Determinación de materia orgánica

La materia orgánica se determinó como pérdida por ignición. Para ello 10 g de suelo se calcinaron en horno de mufla a 550°C durante una noche.

Determinación de amonio y nitrato

Para la determinación del nitrógeno inorgánico del suelo (amonio y nitrato), se llevó a cabo una extracción con KCl 2M (Keeney y Nelson, 1982). Posteriormente se destiló cada extracto con arrastre por vapor, tras añadir MgO, en un destilador Buchi, recogiendo el destilado sobre H₃BO₃ y valorando posteriormente con H₂SO₄ 0,005 N para obtener el nitrógeno amoniacal. Con una nueva destilación, esta vez añadiendo aleación Devarda para reducir el NO₃⁻ a NH₄⁺, recogiendo nuevamente sobre H₃BO₃ y valorando posteriormente con H₂SO₄ 0,005 N, se obtuvo el nitrógeno nítrico.

Determinación de nitrógeno mineralizable

La determinación del nitrógeno mineralizable se realizó únicamente en el ensayo de fertilización mixta. El nitrógeno mineralizable obtuvo por la diferencia entre el nitrógeno mineral existente en las muestras de suelo incubadas anaeróbicamente durante 7 días a 40°C y el existente en muestras sin incubar (Waring y Bremner, 1964). Para determinar el nitrógeno mineral de las muestras se llevó a cabo su destilación por arrastre con vapor utilizando, tras la adición de MgO, utilizando un destilador Buchi; los destilados se recogieron sobre H₃BO₃ y a continuación se valoraron con HCl 0,005 N.

Determinación de micronutrientes asimilables en el extracto Mehlich 3

En el mismo extracto Mehlich 3 utilizado para la determinación de fósforo se midieron micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn) con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2280.

3.1.3.2.- Hoja y peciolo

En las muestras secas y molidas se analizaron los siguientes parámetros:

Carbono y Nitrógeno

Se determinaron con analizador elemental de carbono y nitrógeno LECO 2000.

Calcio, magnesio, potasio, fósforo y micronutrientes

Se determinaron tras digestión ácida con H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 (Castro *et al.*, 1990). El procedimiento fue el siguiente: Se pesaron en tubos de digestión 100 mg de muestra molida. Se añadieron 1 ó 2 gránulos de "anti-bumping" y 3 mL de ácido sulfúrico concentrado. Después de agitar, se añadieron unas gotas de H_2O_2 en cada tubo, introduciéndose posteriormente en un digestor a una temperatura mayor de $385^\circ C$. Se añadió más H_2O_2 en cada tubo, hasta que reaccionó toda la muestra y se clarificó el contenido de cada tubo. Tras su enfriamiento se enrasaron las muestras a 25 mL con H_2O destilada. Directamente en la digestión o bien en diluciones de ésta se determinaron los siguientes elementos químicos:

- Calcio y magnesio, por espectrofotometría de absorción atómica, y potasio, por espectrofotometría de emisión de llama, en un espectrofotómetro Perkin-Elmer 2280.
- Fósforo por espectrofotometría visible con molibdato amónico, utilizando ácido ascórbico como reductor y midiendo la absorbancia del complejo azul fosfomolibdico a 880 nm en un espectrofotómetro visible-UV Shimadzu 1201V (Olsen y Sommers, 1982).
- Hierro, manganeso, cobre y cinc por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin-Elmer 2280.

3.1.3.3.- Tubérculos

Los tubérculos recogidos en cada una de las parcelas se pesaron y a partir de aquí se determinó la producción total por hectárea. Se recolectaron las dos filas centrales de cada parcela para evitar el efecto borde. Los tubérculos se levantaron con una cosechadora y se recogieron manualmente (Figura 3.5).



Figura 3.5.- Proceso mecánico de arrancado del tubérculo

Posteriormente se calibraron los tubérculos, para obtener las fracciones de < 40 mm, 40-80 mm y >80 mm. La fracción de 40-80 mm es considerada la producción comercial.

Para las determinaciones analíticas se tomaron de cinco a diez tubérculos (dependiendo del tamaño) por parcela. En muestras frescas se determinó la densidad y, una vez pelados y triturados los tubérculos, se determinaron: porcentaje de materia seca, ácidos ascórbico y cítrico y azúcares reductores.

Densidad

Se determinó mediante pesada de una muestra de aproximadamente 2 kg de tubérculos en el aire y sumergidos en agua. La densidad se calculó mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{\text{Pesotubérculos aire}}{\text{Pesotubérculos aire} - \text{Pesotubérculos agua}}$$

Porcentaje de materia seca

Se obtuvo a partir de la diferencia de peso entre la muestra fresca y una vez seca a 110°C en estufa durante 48 horas.

Ácidos ascórbico y cítrico

Se determinaron mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Vázquez Oderiz *et al.*, 1994), utilizando el siguiente procedimiento:

Se pesaron 5 g de muestra fresca en un erlenmeyer y se añadieron 15 mL de ácido metafosfórico al 4,5%. Se agitaron (agitador orbital) durante 15 minutos, se filtraron y se enrasaron a 25 mL con ácido metafosfórico al 4,5%. Una alícuota del extracto se filtró a través de un filtro de membrana de tamaño de poro 0,22 µm y se sometió a análisis por HPLC en fase reversa en un cromatógrafo Beckman con un detector UV-Visible de red de diodos ("diode array") y una columna Spherisorb 5 µm ODS 24,6 x 250 mm.

Se prepararon patrones de varias concentraciones de ácido ascórbico y ácido cítrico en ácido metafosfórico al 4,5%. El ácido ascórbico tiene un menor tiempo de retención, apareciendo antes que el ácido cítrico en los cromatogramas.

Las condiciones del cromatógrafo son las siguientes:

fase móvil: agua llevada a pH 2,2 con ácido sulfúrico

flujo: 0,5 L/minuto

detección: a una longitud de onda de 245 nm para el ácido ascórbico y 215 nm para el ácido cítrico.

Almidón

Se estimó a partir del valor de la densidad aparente mediante la fórmula de von Schéele *et al.* (1937):

$$\%Almidón = 17,546 + (199,07 \times \rho) - (199,07 \times 1,0988)$$

Azúcares reductores (glucosa y fructosa)

Fueron determinados mediante espectrofotometría visible con ácido dinitrosalicílico (Miller, 1959). Como patrones se utilizaron disoluciones de glucosa.

De las muestras de tubérculo fresco, una pequeña cantidad se secó en estufa a 60 °C durante 48 horas, posteriormente se molieron con mortero y se determinó en ellas:

Carbono y Nitrógeno

Se determinaron con analizador elemental de carbono y nitrógeno LECO 2000.

El porcentaje de proteína **total** se estimó multiplicando la concentración de nitrógeno por el factor de conversión 6,25 (AOAC, 1984).

Calcio, magnesio, potasio, fósforo y micronutrientes

Se determinaron tras digestión ácida con H₂SO₄ concentrado y H₂O₂, siguiendo el mismo procedimiento descrito para hoja y peciolo.

Pardeamiento enzimático

Para evaluar el pardeamiento enzimático, las patatas fueron peladas a mano y homogeneizadas en una picadora, se colocaron en una placa petri y tras una hora se valoró el pardeamiento por comparación con una tabla de colores (Rousselle *et al.*, 1996). El rango de la escala es de 1 a 9, indicando un número más elevado un menor pardeamiento.

Oscurecimiento después de la cocción

Se ponen las patatas enteras en una olla a presión y se espera a que hierva el agua, en ese momento se baja el fuego al mínimo y se esperan 15 minutos, luego se espera a que pierda la presión y se sacan. Transcurrido ese tiempo se trituran las patatas y se ponen en una placa petri, se espera una hora para su evaluación, utilizando una escala de 1 a 9, indicando un número más elevado un menor oscurecimiento (Rousselle *et al.*, 1996).

Calidad del tubérculo frito (Valoración del color del frito y porcentaje frito desechable).

Partimos de una muestra de 5 o 6 tubérculos (según tamaño), se pelan en una peladora, se lavan y se cortan en láminas (crisps) de entre 1,4 y 1,7 mm. Se pone el aceite

de la freidora a la temperatura de 177,6 °C, se introducen las patatas en la freidora, quedando estas completamente cubiertas de aceite, y se apaga el fuego, se dejan transcurrir unos 3 minutos (hasta que el aceite no burbujee) y se sacan (Figura 3.6). Así, las patatas pierden toda el agua que contenían, sustituyéndola por aceite y sal y adquiriendo la consistencia crujiente que las caracteriza (Borruey *et al.*, 2000).



Agria



Kennebec

Figura 3.6.- Tubérculos tras el proceso del frito para las variedades Agria y Kennebec

Tras la fritura se realiza una valoración del color del producto frito, asignando a cada muestra una puntuación comprendida entre 1 y 9, cuya interpretación se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7.- Valoración del tubérculo frito en crisps

Puntuación	Valoración
1 - 4	No aceptable, color muy oscuro
5 - 6	Aceptable, color dorado fuerte
7 - 9	Aceptable, color dorado pálido

El porcentaje de frito desechable se calcula después de hacer la valoración, pesando los chips que serían desechables con respecto al total.

3.1.4. Cálculo de parámetros de eficiencia de la fertilización

A partir de los datos de rendimiento y análisis de tubérculos, se calcularon los siguientes parámetros de eficiencia de la fertilización:

- Recuperaciones aparentes de nitrógeno, fósforo y potasio (R_N , R_P y R_K)

Se calcularon para cada tratamiento como:

$$R_N = 100 (N - N_0) / N_{ap},$$

$$R_P = 100 (P - P_0) / P_{ap},$$

$$R_K = 100 (K - K_0) / K_{ap},$$

donde N, P y K son los contenidos totales de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente en los tubérculos ($t\ ha^{-1}$) para el tratamiento en cuestión; N_0 , P_0 y K_0 son los contenidos totales de nitrógeno, fósforo y potasio en los tubérculos de las parcelas control y N_{ap} , P_{ap} y K_{ap} son el nitrógeno, fósforo y potasio aplicados como fertilizantes (Bock, 1984).

- Eficiencia de nitrógeno, fósforo y potasio

Se calcularon para cada tratamiento como:

$$\text{Eficiencia del nitrógeno} = (\text{Producción tratamiento} - \text{Producción control}) / N_{ap},$$

$$\text{Eficiencia del fósforo} = (\text{Producción tratamiento} - \text{Producción control}) / P_{ap},$$

$$\text{Eficiencia del potasio} = (\text{Producción tratamiento} - \text{Producción control}) / K_{ap},$$

donde N_{ap} , P_{ap} y K_{ap} son el nitrógeno, fósforo y potasio aplicados como fertilizantes (Rathke *et al.*, 2006).

3.2.- ESTUDIO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Durante el año 2000-2001, se tomaron muestras de aguas superficiales y freáticas poco profundas (Tabla 3.8) de la comarca de A Limia, con objeto de evaluar la posible contaminación de las mismas como resultado de la fertilización de los cultivos de la zona. Se tomaron entre 55 y 65 muestras de agua en cada fecha de muestreo. La localización de las muestras se presenta en la Figura 3.7. Las aguas superficiales son aguas de los canales de drenaje de la laguna de Antela, del río Limia y de sus afluentes. Las aguas freáticas son en general aguas de pozos poco profundos (menos de 10 m) o de afloramientos superficiales, utilizadas para el riego. Se llevaron a cabo seis tomas de muestra en el período indicado (Tabla 3.8).

Tabla 3.8.- Número de muestras de aguas freáticas y superficiales en las distintas fechas de muestreo

Fecha de muestreo	Nº de muestras	
	A. Freáticas	A. Superficiales
19-09-2001	27	27
23-10-2001	28	28
05-03-2002	26	26
22-04-2002	28	37
30-05-2002	27	36
22-07-2002	27	31

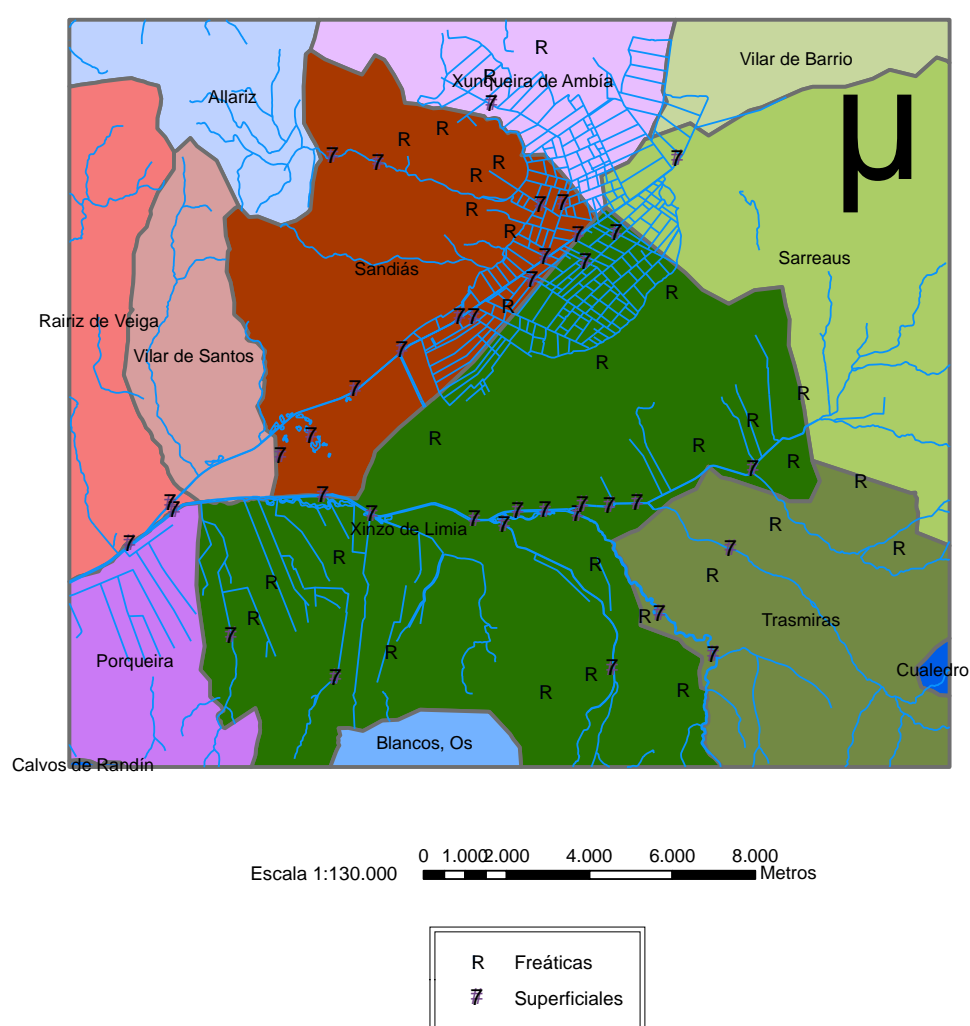


Figura 3.7.- Localización de los puntos de agua muestreados

Las muestras de agua se tomaron en botes de polietileno, se introdujeron en un contenedor isoterma y se transportaron al laboratorio para su análisis. En ellas se realizaron las siguientes determinaciones analíticas:

pH y Conductividad eléctrica

Se determinaron en un plazo inferior a cuatro horas desde la toma de muestra con un pHmetro CRISON, modelo 2001 con electrodo combinado y un conductímetro CRISON, modelo 524, respectivamente.

Amonio y nitrato

Se determinaron mediante destilación por arrastre con vapor de la muestra en medio alcalino (sin y con adición de aleación Devarda, respectivamente) y valoración del NH_3 destilado con H_2SO_4 (Keeney y Nelson, 1982). Esta determinación se llevó a cabo en las 24 horas siguientes a la toma de muestra, manteniendo las muestras en frigorífico hasta ese momento; en los casos en que no se pudo realizar la determinación en ese plazo, las muestras se congelaron hasta su análisis.

Fosfato

Se determinó por espectrofotometría visible con molibdato (Olsen y Sommers, 1982).

Potasio

Se determinó por espectrofotometría de emisión de llama, con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 2280.

Materia orgánica

Se determinó por permanganimetría en medio ácido, calentando a reflujo una muestra de agua con exceso de KMnO_4 y valorando este exceso de KMnO_4 con ácido oxálico (Rodier, 1981).

3.3. ESTUDIO CLIMÁTICO

Se utilizaron los datos de temperatura media, mínima, máxima y precipitación de la estación de Xinzo de Limia del Instituto Nacional de Meteorología.

Con estos datos, se calculó la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, que utiliza la siguiente fórmula:

$$e = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Esta e nos da la ETP mensual no ajustada, donde t es la temperatura media mensual en $^{\circ}\text{C}$, e I y a son constantes para cada estación. En concreto, I es el índice de calor anual, resultante de la suma de los 12 índices de calor mensuales (i). Se pueden calcular I y a de la siguiente manera:

$$I = \sum_{k=1}^{12} i_k = \sum_{k=1}^{12} \left(\frac{t_{m_k}}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = (0,675 \times 10^{-6}) I^3 - (0,771 \times 10^{-4}) I^2 + (0,1792 \times 10^{-1}) I + 0,49239$$

Para el cálculo del déficit o superávit de agua se utilizó la reserva de agua útil del suelo estimada mediante la fórmula de Martínez Cortizas.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de regresión y comparación de medias a través de un ANOVA, aplicando el test de Tuckey. El nivel de significación utilizado fue $p < 0,05$, el cual se considera suficiente para mostrar diferencias significativas entre tratamientos en ensayos de campo. Para ello se empleó el paquete software estadístico SPSS 14.0.

En el ensayo de fertilización exclusivamente mineral, se estudió mediante el análisis de varianza la influencia sobre los distintos parámetros analizados de los siguientes factores: año, fecha de muestreo, dosis de nitrógeno, dosis de fósforo y dosis de potasio, así como las posibles interacciones entre estos factores. En caso de existir interacciones, se repitió el ANOVA aplicado a diferentes archivos parciales, obtenidos al segmentar el archivo original según los valores de un determinado parámetro.

En el ensayo de fertilización mixta, se compararon, por una parte, los tratamientos que combinan fertilización orgánica (O1, O2, O3) y mineral (M1, M2, M3) con el control y, por otra parte, los tratamientos O y M con el control.

Asimismo se realizaron correlaciones bivariadas entre los distintos parámetros (niveles de significación $p < 0,01$ y $p < 0,05$) y análisis de regresión lineal por pasos para obtener la estimación de una variable dependiente en función de una serie de variables independientes. En ambos casos se utilizó también el paquete estadístico SPSS 14.0.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL ENSAYO

4.1. Localización

La comarca de A Limia se encuentra en el sur de la provincia de Orense (Galicia, España), atravesada por el río Limia (Figura 4.1). La mayor parte de la comarca está ocupada por la depresión de Antela, una superficie llana, con una pendiente muy débil y una altitud media de 630 m sobre el nivel del mar (Gómez Nieto, 1996). En la zona septentrional de esta depresión se localizaba la antigua laguna de Antela. La laguna fue desecada a partir de los años 50 del siglo XX, creando una red de canales de drenaje que desembocan en un canal principal, que a su vez vierte al río Limia. Las tierras ocupadas antes por la laguna se convirtieron en tierras de labor, destinadas principalmente al cultivo de patata, que tiene una importancia capital en la economía de la comarca.

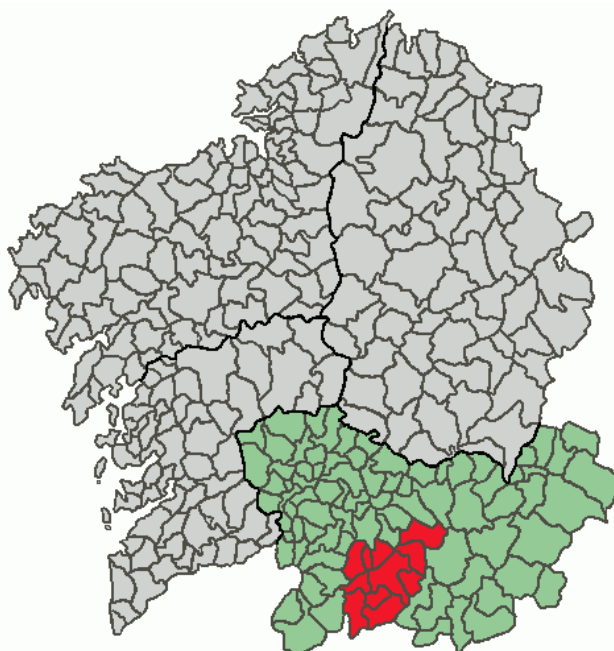


Figura 4.1.- Comarcas de Galicia

La topografía es llana y la capa freática se encuentra próxima a la superficie del terreno.

El clima de la zona es oceánico de transición (Gómez Nieto, 1996), con cierto carácter mediterráneo y rasgos de continentalidad. La temperatura media anual en A Limia es de 11°C y la precipitación de 881 mm. El mes más frío es enero (5,1°C) y los más cálidos julio y agosto (18,4 y 18,0°C, respectivamente). La amplitud térmica anual es de 13°C. El

mes más lluvioso es febrero, con 120 mm, y los más secos julio y agosto, con unos 20 mm. La precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial en los meses de junio a septiembre; el déficit hídrico en este período es de 266 mm. Según el mapa ombrotérmico del Atlas Climático de Galicia (Cortizas *et al.*, 1999) el clima de Xinzo es un clima seco-templado.

4.2.- Caracterización climática

4.2.1.- Temperatura y humedad

Para el estudio climático de la zona donde se planteó el ensayo se utilizaron los datos de la estación meteorológica más próxima, en este caso la de Xinzo de Limia (Lat. 42° 4' 1"N, Long. 7° 43' 48" W, altitud 622m), los cuales se toman como representativos de las condiciones climáticas de la comarca de A Limia (Tabla 4.1). Los datos corresponden a una media de 30 años (1961-1990)

Tabla 4.1.- Valores normales (1961-1990) de temperatura (°C), precipitación (mm) y ETP (mm)

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media (°C) /Total (mm)
t	5,1	5,8	7,3	9,1	12,0	15,7	18,4	18,0	15,9	11,4	7,5	5,4	11,0
t _M	10,5	11,4	13,5	15,2	19,0	23,5	27,0	26,8	24,3	18,4	13,5	11,0	17,8
t _m	-0,2	0,2	1,2	2,9	5,0	7,9	9,9	9,2	7,5	4,4	1,5	-0,1	4,1
T _M	15,4	17,1	19,8	22,5	27,0	31,5	34,0	34,2	31,9	25,7	19,5	16,6	24,6
T _m	-6,8	-5,7	-4,8	-2,6	-0,3	1,8	4,4	2,8	0,9	-2,2	-4,9	-7,0	-2,0
P	115,0	119,8	71,9	75,6	69,6	43,2	20,2	19,8	42,7	87,4	98,8	116,6	880,6
ETP	16	19	33	43	68	94	116	105	77	49	26	17	663

Donde:

t= temperatura media (°C)

t_M=temperatura media de las máximas (°C)

t_m= temperatura media de las mínimas (°C)

T_M=temperatura media de las máximas absolutas (°C)

T_m= temperatura media de las mínimas absolutas (°C)

P= precipitación (mm)

ETP= evapotranspiración potencial calculada por método de Thornthwaite (mm).

Los datos indican que, si bien existe un superávit de agua global, resultante de exceso de precipitación observado entre octubre y mayo, existe un acentuado déficit hídrico potencial entre julio y septiembre.

4.2.2.- Heladas

*Periodo libre de heladas n' (Carballeira *et al.*, 1983)

$$n' = 193,11 + 23,16 * t_m$$

Siendo t_m (temperatura media de las mínimas del mes más frío).

$$n' = 193,11 + 23,16 * (-0,2) \text{ (Enero)}$$

$$n' = 188,48 \text{ días libres de heladas}$$

$$365 - 188 = 177 \text{ días de heladas en Xinzo de Limia.}$$

*Día de la primera helada

$$Y = -662 + 2,81 * X$$

$$188 = -662 + 2,81 * X$$

$$X = 302,49 (\cong 29 \text{ octubre})$$

*Día de la última helada

$$Y = 365 - 1,57 * X$$

$$188 = 365 - 1,57 * X$$

$$X = 112,74 (\cong 22 \text{ abril})$$

El período de heladas en Xinzo de Limia se produce entre los meses de noviembre y abril con un total de 177 días, por lo tanto no se esperan heladas durante el ciclo de cultivo, el cual transcurre entre mayo y septiembre.

La temperatura en la época de la siembra (Abril-Mayo) es ligeramente baja para favorecer la emergencia. En Junio-Agosto, las temperaturas son adecuadas para el desarrollo vegetativo de la patata y la actividad fotosintética. Las temperaturas en Junio y Julio son adecuadas para la tuberización. En resumen, las temperaturas de A Limia resultan adecuadas para el cultivo de la patata, siempre que la siembra no se realice antes de finales de abril.

4.2.3.- Balance hídrico

Se realiza un balance hídrico por el método de Thornthwaite (Tabla 4.2).

Para el cálculo del balance hídrico de los valores normalizados se tuvo en cuenta el valor de reserva máxima estándar 100 mm.

En un estudio detallado del balance hídrico (Tabla 4.2 y Figura 4.2) vemos que las pérdidas de agua son superiores a las ganancias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Tabla 4.2.- Datos del balance hídrico por el método de Thornthwaite

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P	115,0	119,8	71,9	75,6	69,6	43,2	20,2	19,8	42,7	87,4	98,8	116,6
ETP	16	19	33	43	68	94	116	105	77	49	26	17
R	100	100	100	100	100	100	49,2	0	0	0	38,4	100
EXCESO	99	100,8	38,9	32,6	1,6						11,2	99,6
DEFICIT							46,6	85,2	34,3			

P = precipitación en mm

ETP = evapotranspiración potencial (mm)

R = reserva de agua (mm)

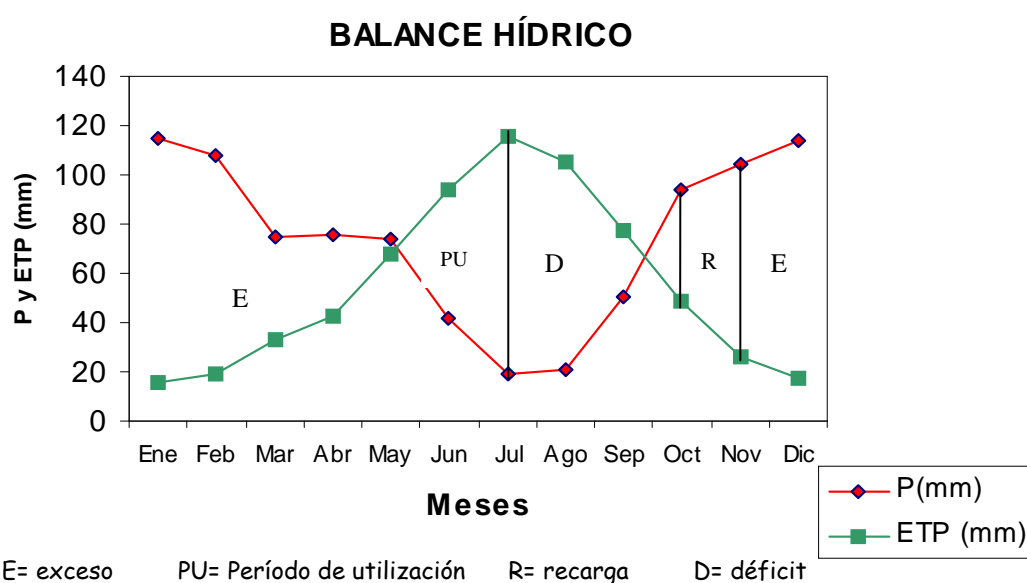


Figura 4.2.- Balance hídrico para la estación de Xinzo de Limia

4.2.4.- Clasificación de Thornthwaite

Este autor traduce la interpretación de los resultados obtenidos en el balance hídrico según cuatro criterios, que por su combinación permiten clasificar el clima:

Índice de humedad (I_h)

S = exceso hídrico anual, N = necesidades de agua anuales (ETP)

$$I_h = 100 * \frac{S}{N}$$

$$I_h = 100 * \frac{387,9}{663} = 58,5$$

Índice de aridez (I_a)

D = déficit hídrico anual, N = necesidades de agua anuales (ETP)

$$I_a = 100 * \frac{D}{N}$$

$$I_a = 100 * \frac{159,6}{663} = 24,1$$

Índice hídrico anual (I_{ha})

$$I_{ha} = I_h - 0,6I_a$$

$$I_{ha} = 58,5 - 0,6*24,1 = 44,0$$

Índice de la concentración estival de la eficacia térmica (c)

$$C = \frac{315}{663} * 100 = 48$$

$$C = (\text{ETP estival} / \text{ETP anual}) * 100$$

*Región de humedad: $60 > I_{ha} \geq 40$. Tipo húmedo II B₂

*Región térmica: $712 > \text{ETP} \geq 570$. Tipo mesotérmico I B'₁

*Variación estacional de la humedad: para climas húmedos $33,3 > I_a \geq 16,7$. Déficit de agua moderado en verano (Tipo s).

*Contraste térmico $51,9 > C \geq 48$. Tipo b₄'

De acuerdo con estos datos el clima puede representarse por la siguiente fórmula según Thornthwaite: B₂ B₁ s b₄': clima húmedo, mesotérmico I con déficit de agua moderado en verano y contraste térmico tipo b₄'.

4.3. - Caracterización geológica

En la zona de la laguna de Antela se presentan sedimentos cuaternarios, cuya potencia puede alcanzar los 200 m en las zonas centrales. En la zona superficial los sedimentos son gruesos, de textura arenosa o franco arenosa. A profundidad variable (entre 0,5 m y varios metros) aparecen sedimentos arcillosos. Según el IGME (1974), el tipo general de depósitos corresponde a una depresión continental semiendorreica, sin grandes arterias de aporte. La colmatación ha seguido un proceso de aporte intermitente, desarrollándose incluso episodios palustres con formación de turbas.

El marco de la depresión está constituido por materiales ígneos y metamórficos (IGME, 1974). Las rocas ígneas son rocas graníticas, incluyendo granitos de dos micas y

granitos moscovíticos. Entre los materiales metamórficos se distinguen rocas paleozoicas y rocas precámbrico-cámbricas. Dentro de las rocas paleozoicas pueden distinguirse: esquistos de cuarzo y mica, filitas, micacitas y micaesquistos andalucíticos. Las rocas precámbrico-cámbricas son porfiroides y neises glandulares ("ollo de sapo").

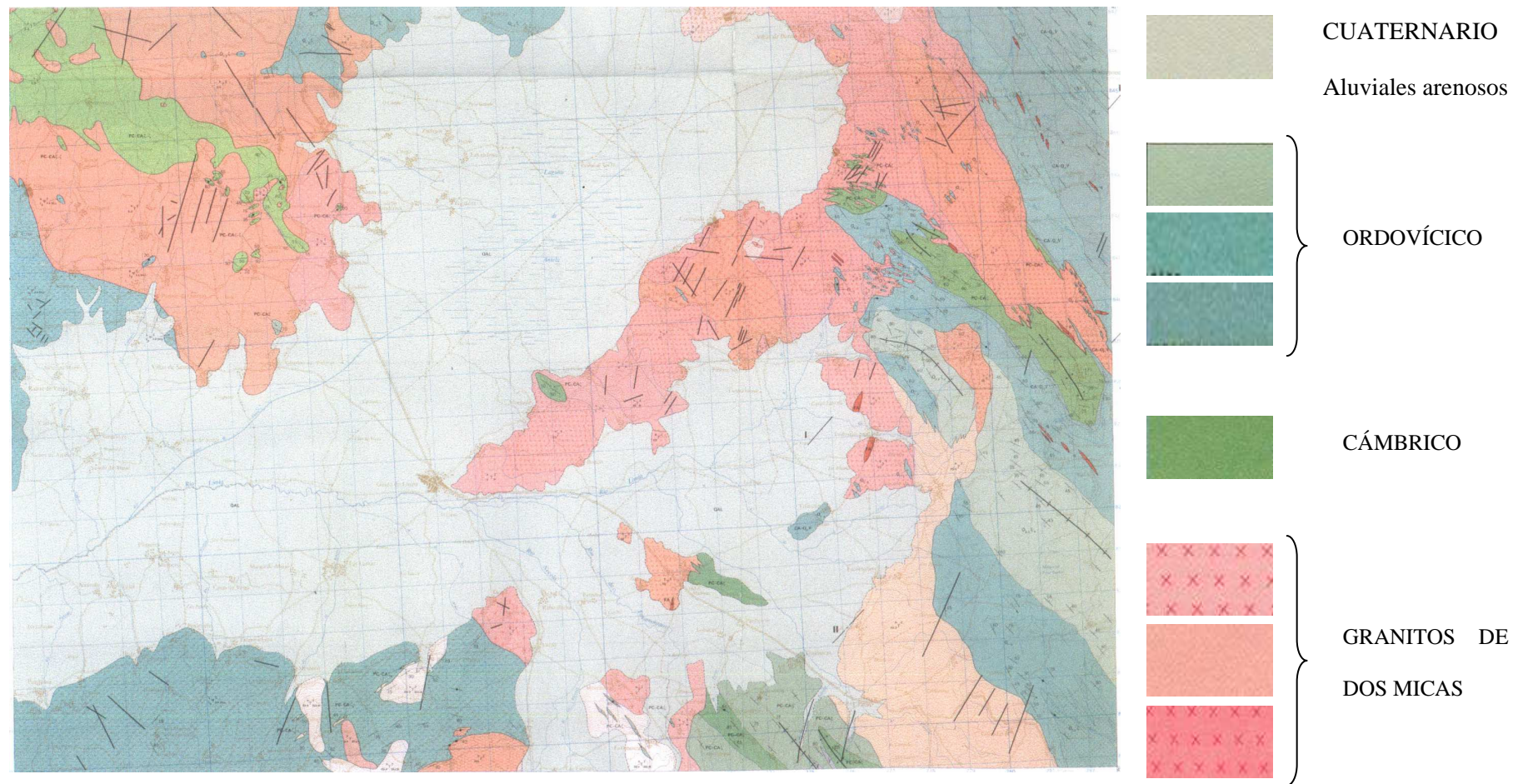


Figura 4.3.- Mapa Geológico de la zona del ensayo (IGME, 1974)

4.4.- Caracterización edafológica

Los suelos de la depresión de Antela están desarrollados sobre materiales sedimentarios. Generalmente presentan una textura gruesa en los horizontes superficiales, apareciendo una capa arcillosa a profundidad variable. Los pH son ácidos (<6) incluso en los suelos de cultivo. El contenido de materia orgánica es alto en algunos suelos que acumulan materia orgánica en condiciones de hidromorfía y relativamente bajo (próximo al 3%) en muchos suelos de cultivo.

En el marco de la depresión se forman suelos sobre rocas consolidadas.

Las unidades de suelos más representadas en la zona son las siguientes (FAO, 1998):

- **Leptosoles:** Aparecen en el marco de la depresión, en las zonas de mayor pendiente.
- **Umbrisoles:** Desarrollados también sobre roca consolidada, en zonas de menor pendiente.
- **Cambisoles:** Desarrollados sobre rocas ígneas o metamórficas o sobre sedimentos. En este último caso presentan con frecuencia propiedades gleicas.
- **Gleysoles:** Localizados en la antigua laguna de Antela, las labores de drenaje han permitido su puesta en cultivo, si bien el nivel freático aparece a poca profundidad y puede llegar a la superficie en la época invernal.
- **Histosoles:** Aparecen en el centro de la antigua laguna. También se ha puesto en cultivo tras el drenaje de la laguna.

4.5.- Hidrología de la zona

El río Limia atraviesa la depresión de Antela en dirección E-SO. Recibe el agua de las sierras que rodean esta depresión. El canal principal de la laguna de Antela le aporta el agua de las tierras que estuvieron ocupadas por la antigua laguna. El río presenta el mayor caudal en los meses de enero, febrero y mayo y el menor en agosto y septiembre (Gómez Nieto, 1996).

El acuífero de A Limia, de carácter no confinado o semiconfinado (Díaz-Fierros, 2000), tiene unas reservas de 400 hm³ y un volumen renovable de 90 hm³ año⁻¹. Según Burkart y Stoner (2002), los acuíferos superficiales no confinados asociados con

agricultura intensiva son los más susceptibles de sufrir contaminación por nitratos. El elevado nivel freático contribuye a la movilización de elementos nutritivos y plaguicidas de las tierras de labor.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- CLIMA Y SUELO

5.1.1.-Estudio climático de los años 1998, 1999 y 2000

En la Tabla 5.1 se muestran los datos climáticos de los tres años de estudio en los que se realizó la experiencia de fertilización.

Para la realización de los balances hídricos se utiliza la reserva de agua útil estimada para el suelo utilizado en los ensayos mediante la fórmula Martínez Cortizas (1988). La aplicación de esta fórmula da los siguientes resultados:

$$IFG = (\% \text{limo fino} + \% \text{arcilla}) / (\% \text{limo grueso} + \% \text{arena}) = 0,215$$

$$RAU = 24,06 + 10,83 \ln (IFG) + 6,8 \ln C = 24,06 + 10,83 \ln 0,215 + 6,8 \ln 1,81 = 11,45\%$$

Considerando 50 cm de profundidad, la reserva de agua útil en mm será:

$$RAU = \frac{11,45}{100} \times 50 \text{ cm} = 57,25 \text{ mm}$$

Tabla 5.1.- Datos de temperatura (°C), precipitación (mm), evapotranspiración potencial (mm) y balance hídrico para los tres años de ensayo

1998

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
t	6,1	7,2	8,8	6,4	13,3	15,4	20,3	21,6	16,2	13,5	8,8	4,3
t _m	2,6	0,3	0,2	2,3	7,3	8,2	12,1	14,1	9,5	5,1	2,1	-1,6
t _M	9,6	14,1	17,5	10,5	19,3	22,6	28,5	29,1	22,9	21,9	15,5	10,2
P	95,0	41,5	45,0	222,0	60,0	0,0	4,0	42,0	91,0	33,0	29,0	38,0
ETP	18,0	22,0	35,0	25,6	72,6	87,8	124,8	124,6	76,0	55,7	28,7	10,6
R	57	57	57	57	57	44,4	0	0	0	15	0	0,3
E	77	19,5	10	196,4								
D						43,4	120,8	82,6		7,7		

1999

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
t	4,4	5,2	9,6	9,8	12,7	17,6	20,4	19,6	15,9	12,9	6,6	5,2
t _m	-0,6	-2,2	3,5	3,2	6,0	10,2	12,4	12,8	10,3	7,8	0,1	-0,1
t _M	9,5	12,7	15,6	16,4	19,4	25,0	28,3	26,3	21,5	18,0	13,1	10,6
P	44	12	68	140	111	7,0	10,0	42,0	230	198	21,0	83,5
ETP	12,1	15,0	39,8	44,4	68,7	103,7	125,4	111,0	74,9	52,8	19,9	14,3
R	27,7	57	54	57	57	57	0	0	0	57	57	57
E	2,6		25,2	95,6	42,3				98,1	145,2	1,1	69,2
D						39,7	115,4	69				

2000

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
t	3,2	8,6	9,2	7,4	13,0	17,8	17,2	19,5	15,7	10,8	6,7	8,9
t _m	-3,4	2,6	0,6	3,1	6,9	9,8	10,0	11,0	6,5	4,1	3,1	5,6
t _M	9,9	14,6	17,7	11,8	19,2	25,8	24,4	28,0	24,9	17,5	10,3	12,2
P	49,2	13	10	268	76,8	2,3	32	6,5	29	48	156	281
ETP	8,6	28,8	38,8	32,4	72,1	106,2	102,7	111,1	74,7	43,4	21,0	28,6
R	57	57	41,2	12,4	57	57	0	0	0	0	4,6	57
E	40,6			191	4,7						82,6	252,4
D						46,9	70,7	104,6	45,7			

Donde:

t= temperatura media (°C)

t_M=temperatura media de las máximas (°C)

t_m= temperatura media de las mínimas (°C)

P= precipitación (mm)

ETP= evapotranspiración potencial calculada por método de Thornthwaite.

R= reserva de agua útil

E= exceso (mm)

D= déficit (mm)

Como se puede ver en la Tabla 5.1 y en la Figura 5.1, durante el periodo de cultivo de la patata (Mayo-Septiembre) las temperaturas del año 1998 fueron superiores a los valores normales, especialmente en los meses de Julio y Agosto. En 1999 se superan las temperaturas normales todos los meses durante el período vegetativo de la patata. En el año 2000 se superan ligeramente dichas temperaturas en los meses mayo, junio y agosto. La temperatura media de las máximas (t_M) alcanzó también valores elevados en julio y agosto de 1998 y 1999. Cabe esperar que estas elevadas temperaturas puedan influir

negativamente en el desarrollo del cultivo, particularmente en el desarrollo de los tubérculos.

Por otra parte, la temperatura media de las mínimas es superior a 5 °C durante todo el período vegetativo en los tres años de ensayo, por lo que en principio no cabría esperar limitaciones al desarrollo del cultivo por bajas temperaturas.

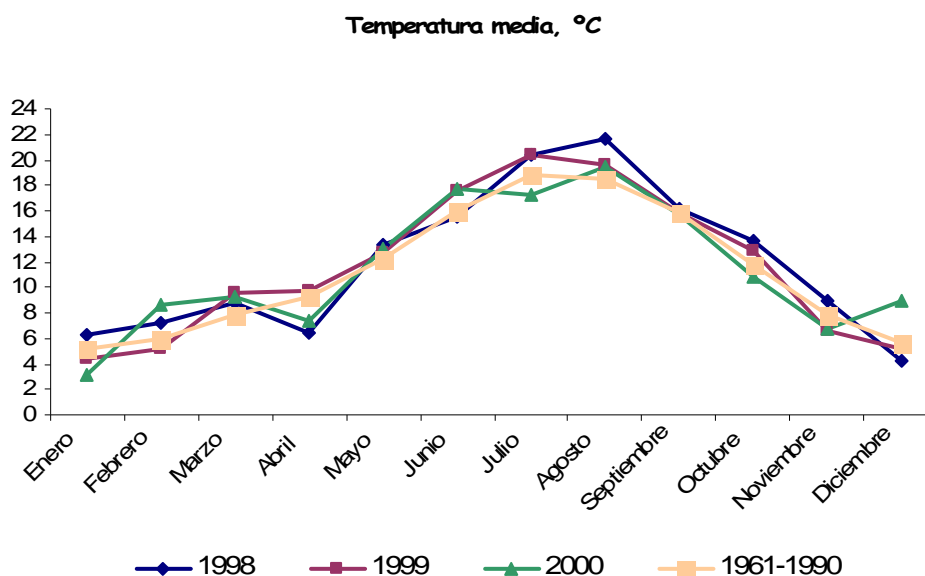


Figura 5.1.- Temperaturas medias de los tres años de estudio y valores normales del período 1961-1990

La fecha estimada de la última helada en 1998 es muy próxima a la fecha de siembra (Tabla 3.3), que estuvo condicionada por las bajas temperaturas en abril y principios de mayo. En 1999, la fecha estimada de la última helada es anterior a la emergencia; presumiblemente ésta se ve retrasada por las bajas temperaturas, de modo que transcurre aproximadamente un mes entre la siembra y la emergencia. En 2000, la fecha estimada de la última helada es posterior a la emergencia; sin embargo, si bien la fecha de siembra es tardía, la emergencia tiene lugar dos semanas después de la plantación y no se produce ningún efecto negativo sobre el desarrollo del cultivo. El cálculo del período libre de heladas se basa en la temperatura media de las mínimas del mes más frío, que en 2000 es enero; este mes es particularmente frío, mientras las temperaturas en los meses de desarrollo del cultivo son próximas a los valores normales; parece que el período libre de heladas en 2000 se ha infraestimado y que la fecha de la última helada debe ser anterior a la indicada.

Tabla 5.2.- Período de heladas en los tres años de estudio

Heladas	1998	1999	2000
Periodo libre de heladas, n°	156	142	114
Día de la primera helada	18 de Octubre	13 de Octubre	3 de Octubre
Día de la última helada	13 de Mayo	22 de mayo	7 de Junio

En lo que se refiere a la precipitación, el año 1998 fue más seco que el año medio de esta comarca (Tablas 5.1 y 5.2), mientras que los años 1999 y 2000 fueron más lluviosos. Como se observa en la Figura , la precipitación mensual en el año 1998 es menor que los valores normales salvo en los meses de Abril, Agosto y Septiembre; en el año 1999 es mayor que los valores normales en los meses de Abril, Mayo, Agosto y Septiembre; en el año 2000 la precipitación es mayor que los valores normales en los meses de Abril, Mayo y Julio. En los meses de Junio y Julio, en los cuales las necesidades hídricas del cultivo son importantes, la precipitación fue insignificante en 1998, baja en 1999 y superior al valor normal en 2000.

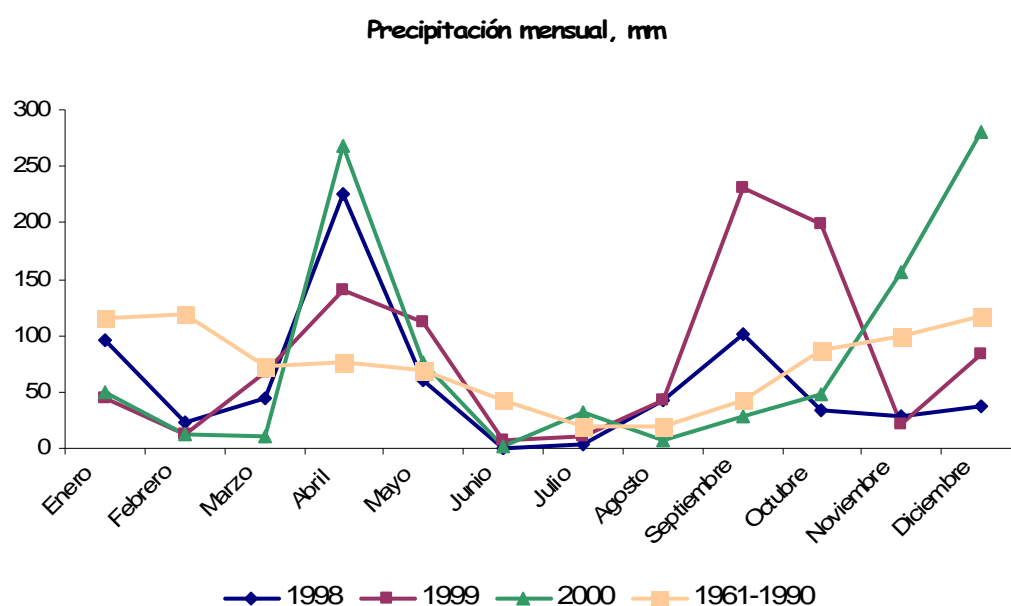


Figura 5.2.- Precipitación mensual para los tres años de estudio y la media de los 30 años

El déficit hídrico estival señalado al tratar de los valores normales se observa también en estos años. En los tres años de ensayo, la evapotranspiración supera a la precipitación en los meses de Junio, Julio y Agosto (Figura 5.3). De acuerdo con todo esto y teniendo en cuenta los distintos aspectos que determinan la cantidad de agua a aportar, durante la experiencia de fertilización, se aplicaron cada año seis riegos: dos en Junio, tres

en Julio y un último riego en los primeros días de Agosto, con un aporte total de agua de unos 150 mm.

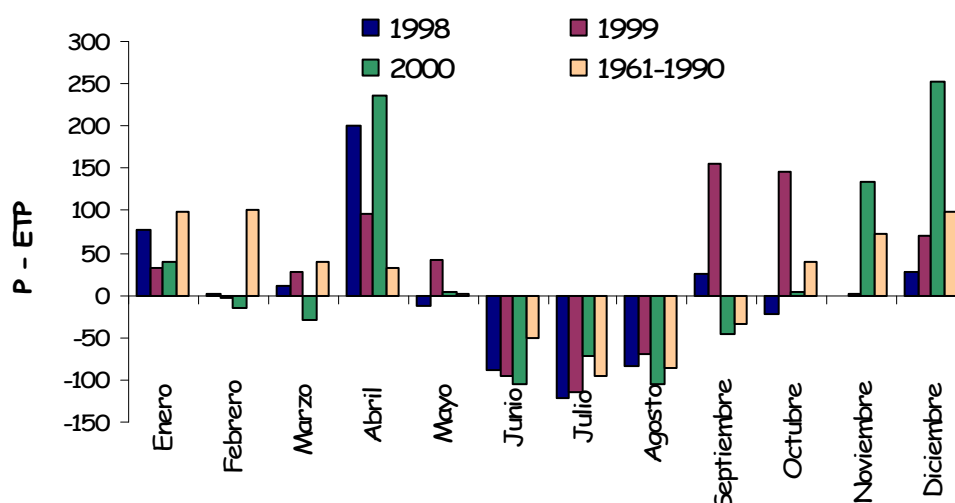


Figura 5.3.- P - ETP mensual para los tres años de estudio y la media de los 30 años

5.1.2.-Precipitación y evapotranspiración del período de muestreo de aguas 2001-2002

La precipitación durante el año de estudio es baja (528,7 mm) en comparación con los valores medios y presenta una distribución anómala a lo largo del año, con valores mínimos en noviembre y diciembre y máximo en octubre 2001 (120,2 mm). La evapotranspiración potencial es superior a la precipitación en agosto, septiembre y noviembre de 2001 y en abril, junio y julio de 2002 (Figura 5.4).

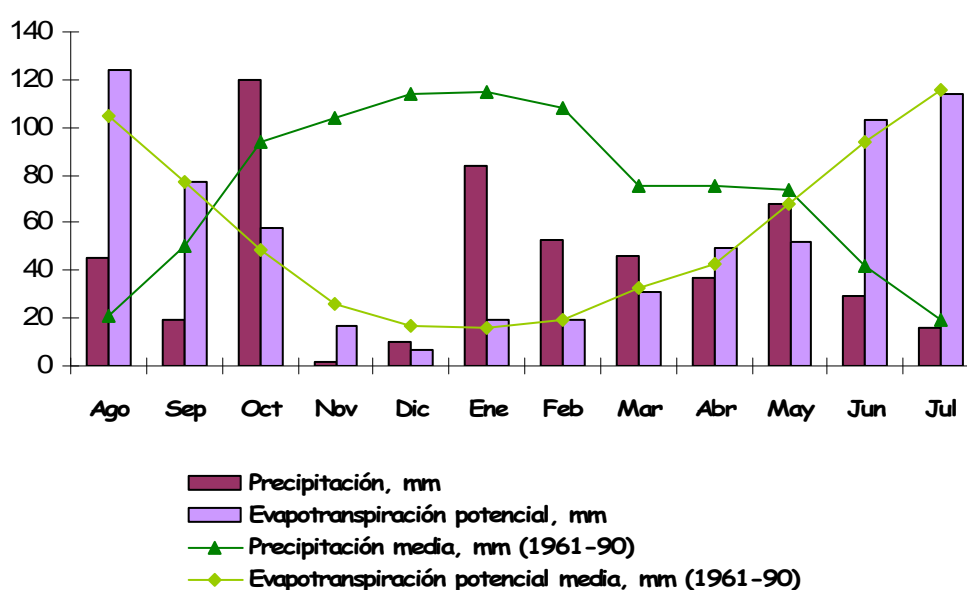


Figura 5.4.- Datos climáticos de precipitación y evapotranspiración del año de muestreo y valores medios de 1961-90

5.1.3. Análisis del horizonte superficial del suelo

Se presentan a continuación los resultados del análisis de la capa arable del suelo utilizado en el ensayo. Las propiedades físicas se determinaron únicamente el primer año, por suponer que su variación en la finca experimental sería mínima. Las propiedades químicas del suelo se determinaron los tres años de ensayo, en las parcelas en que se llevaron a cabo los ensayos de fertilización mixta y fertilización mineral.

Tabla 5.3.- Caracterización física de la capa arable

PARÁMETRO	VALOR
ARENA GRUESA	44,6%
ARENA FINA	28,3%
LIMO GRUESO	9,4%
LIMO FINO	9,1%
ARCILLA	8,6%
TEXTURA	FRANCO ARENOSA
Composición mineralógica de la fracción arcilla	caolinita, ilita y cuarzo
DENSIDAD REAL	2,4 g/cm ³
DENSIDAD APARENTE	1,2 g/cm ³
POROSIDAD	50%

De acuerdo con la granulometría del suelo la textura del mismo es franco-arenosa. Esa textura es muy favorable para el cultivo de la patata (Lema *et al.*, 1988; Domínguez Vivancos, 1997).

El bajo contenido de arcilla y la composición mineralógica de la misma serán determinantes de la baja capacidad de cambio de este suelo, que se verá agravada por el bajo contenido de materia orgánica.

Tabla 5.4.- Caracterización química de la capa arable del suelo de las parcelas de fertilización mixta y de fertilización mineral

	Fertilización mixta			Fertilización mineral		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
PARÁMETRO	VALOR					
pH en agua	5,4	5,5	5,4	5,2	5,2	4,8
pH en KCl	4,8	4,4	4,8	4,7	4,6	4,5
CARBONO TOTAL (%)	1,8	1,6	1,2	1,6	1,5	1,5
NITRÓGENO TOTAL (%)	0,19	0,09	0,11	0,12	0,09	0,08
RELACIÓN C/N	10,7	17,9	17,7	14,2	16,6	18,3
NITRATO (mg N/kg)	19,2	7,2	15,1	13,3	18,4	44,6
AMONIO (mg N/kg)	0,0	5,2	23,6	32,1	52,7	35,8
FÓSFORO OLSEN (mg kg ⁻¹)	74	69	61	54	68	62
FÓSFORO MEHLICH 3 (mg kg ⁻¹)	185	177	245	166	137	82
CALCIO DE CAMBIO (cmol _c kg ⁻¹)	2,3	2,6	3,2	3,5	1,9	2,2
MAGNESIO DE CAMBIO (cmol _c kg ⁻¹)	0,23	2,1	0,85	0,28	0,36	0,30
POTASIO DE CAMBIO (cmol _c kg ⁻¹)	1,03	0,28	0,69	0,18	0,43	0,33
ALUMINIO DE CAMBIO (cmol _c kg ⁻¹)	0,10	0,37	0,02	0,24	0,36	0,37
CIC _e (cmol _c kg ⁻¹)	4,0	5,7	5,0	4,5	3,2	3,3
pH en NaF (a los 60 minutos)	8,8	8,5	8,9	8,4	8,7	8,5

El suelo presenta un valor de **pH en agua** que se encuentra ligeramente por debajo del intervalo óptimo 5,5-6,5 (Alonso Arce, 1996), pero, con excepción del ensayo de fertilización mineral en 2000, dentro del intervalo óptimo 5,2-5,6 propuesto por Lema (1996). Este valor de pH permite evitar problemas de proliferación de la sarna, cuya incidencia es mínima a pH ácido. En cuanto al **pH en KCl**, es siempre igual o inferior a 4,8, óptimo para el cultivo de patata según Lema (1996).

En lo que se refiere a la **materia orgánica** del suelo, ésta es fundamental para el mantenimiento de su estructura, favoreciendo la retención de agua en épocas de sequía y el drenaje si el agua es excesiva. Además la materia orgánica contribuye de forma decisiva a la capacidad de intercambio catiónico, particularmente en suelos carentes de arcillas con carga permanente. El contenido de carbono, directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica, es bajo en el suelo inicial pues los valores recomendados para el cultivo de patata son de 6% de materia orgánica (Lema *et al.* 1988). En concordancia, las

concentraciones de nitrógeno son también bajas. Por esto una fertilización orgánica debe ser beneficiosa para el suelo.

La concentración de **fósforo Olsen** es muy elevada en los suelos utilizados en todos los ensayos. En los suelos que presentan más de 25 mg kg^{-1} de fósforo, se considera que tienen reservas y sólo se han de efectuar aportes para compensar las extracciones del cultivo o como abonado de arranque que asegure una disponibilidad inmediata en estadios en que el cultivo lo precisa más acusadamente (Lema, 1996). En cuanto al nivel de **fósforo Mehlich 3** es elevado o muy elevado, excepto en la parcela de fertilización mineral en 2000, en la que la concentración es media. Se considera alto un valor de 150 mg P kg^{-1} .

En relación al complejo de cambio se puede decir que:

- En general, un suelo es deficiente en **calcio** si posee menos de $1,5 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ o si la razón Ca/Mg es inferior a 0,5 (Buol *et al.*, 1975). El cultivo de la patata es uno de los menos exigentes en este elemento, niveles de $0,7 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ son suficientes para no inducir deficiencias (van Lierop *et al.*, 1982), mientras que concentraciones elevadas (mayores de $7,5 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$) favorecen la proliferación de la sarna (Kazusighe, 1985). Las concentraciones en el suelo inicial parecen suficientes para cubrir las necesidades del cultivo y, al mismo tiempo, previenen la aparición de la sarna al ser inferiores a $7,5 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. La participación del calcio en el complejo de cambio presenta valores elevados (Tabla 5.5), pero en ningún caso se supera el umbral del 85% propuesto por Lema como máximo adecuado para el cultivo de la patata.

- El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de Reino Unido (MAFF-GB, 1987) recomienda aportar **magnesio** en cultivos susceptibles, como es la patata, si el suelo contiene menos de $0,4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (como ocurre en los suelos utilizados en los tres años en el ensayo de fertilización mineral y en 1998 en el de fertilización mixta) o si los niveles de potasio son muy altos, como es el caso de los suelos acondicionados para patata. Sin embargo, es necesario tener en cuenta las relaciones entre cationes y su participación en el complejo de cambio (Tabla 5.5). Se citan en la bibliografía relaciones que el calcio y el potasio deben mantener con el magnesio a efectos del suministro de éste, así como valores críticos de los que se puede deducir una deficiencia por desequilibrio; los valores normales y críticos, respectivamente, son para la relación Ca/Mg 10 y 50 y para la relación K/Mg 0,8 y 2,0 (Lema 1996). Se admite que las mejores condiciones para la disponibilidad del magnesio se reúnen cuando las concentraciones superan $0,8 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ y su participación en el complejo de cambio es igual o mayor de 5% (Harrison *et al.*, 1982; Lema, 1996). Las

concentraciones de Mg de cambio en los suelos utilizados en los tres años en el ensayo de fertilización mineral y en 1998 en el de fertilización mixta están por debajo de $0,4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, pero superan el 5% de la capacidad de cambio efectiva (Tabla 5.5). Según esto y teniendo en cuenta la baja capacidad de cambio de estos suelos, no parecen que deban esperarse problemas importantes derivados del déficit de magnesio, con excepción del suelo utilizado en el ensayo de fertilización mixta en 1998, que presenta una relación K/Mg = 5 (Tabla 5.5). Por el contrario, las concentraciones de magnesio de cambio son elevadas en los suelos utilizados en el ensayo de fertilización mixta en 1999 y 2000; particularmente, en 1999 el valor del 37% de magnesio en el complejo de cambio y las relaciones Ca/Mg y K/Mg (Tabla 5.5) indican claramente un exceso de este elemento.

- La patata es un cultivo que presenta elevadas absorciones de potasio, por esto, aunque niveles de $0,2 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ se consideran limitantes para los cultivos en general, debido a las exigencias de la patata el límite se eleva hasta $0,26 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. Se considera como valor normal de potasio $0,51 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Lema, 1996). Con excepción del suelo utilizado en 1998 en el ensayo de fertilización mineral, las concentraciones de potasio de cambio superan el umbral de $0,26 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. En 1998 y 2000 los suelos utilizados en los ensayos de fertilización mixta superan el valor de $0,51 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. Las concentraciones de potasio varían marcadamente entre los seis suelos utilizados, a pesar de su proximidad y aparente uniformidad. Debe tenerse en cuenta que, si bien los valores absolutos de potasio de cambio no son elevados, sí lo son en algún caso los valores relativos, dada la baja capacidad de cambio de estos suelos. La disponibilidad de este elemento está afectada por su participación en el complejo de cambio, dada la posibilidad de existencia de antagonismos entre los distintos cationes; según con Harrison *et al.* (1982) un porcentaje del 5% de potasio en el complejo de cambio se asocia con máximos rendimientos de patata. De acuerdo con estos valores, cabe esperar déficit de potasio en los suelos utilizados en el ensayo de fertilización mineral en 1998 y en el de fertilización mixta en 1999. Por el contrario, el suelo utilizado en 1998 en el ensayo de fertilización mixta presenta un gran exceso de potasio.

- En lo que se refiere al aluminio, la patata es un cultivo resistente a la presencia de este elemento. Manrique y Uehara (1984a y b; citado por Lema, 1996) asume que los rendimientos del cultivo no se reducen si el porcentaje de saturación de aluminio del complejo de cambio es menor del 20%. El suelo inicial presenta valores moderados del aluminio de cambio, tanto en valor absoluto como en porcentaje. La concentración de

aluminio de cambio alcanza como máximo $0,37 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, mientras el porcentaje no supera el valor de 12.

- En cuanto a la **capacidad de intercambio catiónico efectiva** (CICe), hay que decir que la fertilidad del suelo puede estar limitada por una baja CICe estableciéndose el umbral para un valor menor de $4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Sánchez *et al.*, 1982). Se presentan valores inferiores a este umbral en las parcelas utilizadas en el ensayo de fertilización mineral en los años 1999 y 2000 y en la utilizada en el ensayo de fertilización mixta en 1998. Esta baja CICe es debida, como se ha indicado, a los bajos niveles de materia orgánica y a que las formas de arcilla dominantes, caolinita e ilita, tienen una baja capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 5.5.- Porcentajes de cationes de cambio y relaciones entre los mismos en los ensayos de fertilización mixta y fertilización mineral

% CIC _e	UMBRAL	ÓPTIMO	Fertilización mixta			Fertilización mineral		
			1998	1999	2000	1998	1999	2000
CALCIO	< 85 ⁽¹⁾		57,5	45,6	64,0	77,8	59,4	66,7
POTASIO		5 ⁽²⁾	25,8	4,9	13,8	4,0	13,4	10,0
MAGNESIO		5 ⁽²⁾	5,8	36,8	17,0	6,2	11,3	9,1
ALUMINIO	< 60 ⁽³⁾	< 20 ⁽⁴⁾	2,5	6,5	0,4	5,3	11,3	11,2
RELACIÓN	UMBRAL	ÓPTIMA	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Ca/Mg	< 50 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾	9,9	1,2	3,8	12,5	5,3	7,3
Ca/K			2,2	9,3	4,6	19,5	4,4	6,7
K/Mg	< 2 ⁽¹⁾	0,8 ⁽¹⁾	4,4	0,13	0,81	0,65	1,19	1,10

⁽¹⁾ Lema (1996)

⁽²⁾ Harrison *et al.* (1982)

⁽³⁾ Sánchez *et al.* (2003)

⁽⁴⁾ Buol *et al.* (1975), Manrique y Uehara (1984a y b)

De acuerdo con todo lo anterior y a la vista de la participación de los cationes en el complejo de cambio y de las relaciones existentes entre los mismos en el suelo de partida del presente estudio, recogidas en las Tablas 5.4 y 5.5, se puede decir que:

Los suelos utilizados en los ensayos presentan una gran variabilidad en cuanto a la composición del complejo de cambio, a pesar de su proximidad y de estar desarrollados sobre el mismo material original en una zona de topografía llana. Esta variabilidad debe

atribuirse a la historia agrícola de estos suelos, que sin duda han recibido muy distintas fertilizaciones, con grandes excesos en ocasiones de algunos elementos nutritivos.

Las parcelas utilizadas en los ensayos de fertilización mineral no parecen presentar graves desequilibrios entre cationes del complejo de cambio, si bien los valores absolutos de magnesio de cambio pueden considerarse bajos y en el año 1998 el suelo presenta un cierto déficit de potasio.

En cuanto a las parcelas utilizadas en los ensayos de fertilización mixta, en el año 1998 el porcentaje de magnesio en el complejo de cambio presenta un valor adecuado, pero el porcentaje de potasio es extremadamente alto, lo que da lugar a desequilibrios K/Ca y K/Mg. Estos desequilibrios iniciales van a condicionar las relaciones K/Ca y K/Mg a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo, como se verá en el capítulo correspondiente. En 1999 ocurre exactamente lo contrario: el porcentaje de potasio es adecuado mientras que el de magnesio es extremadamente elevado; en este caso se producirán desequilibrios Ca/Mg y K/Mg. En 2000 los porcentajes de potasio y magnesio están por encima del valor considerado ideal (5%), pero no presentan valores tan desmesurados como en los años anteriores; consecuentemente, las relaciones entre cationes de cambio son mucho más equilibradas que en 1998 y 1999.

Los porcentajes de calcio son algo bajos, con excepción del ensayo de fertilización mineral en 1998. Dado que, como se ha dicho, la patata no es un cultivo exigente en calcio, que los valores absolutos son superiores al valor crítico y la relación Ca/Mg superior a 0,5, no se prevén problemas nutricionales asociados a este elemento, a excepción de los desequilibrios mencionados. Por otro lado, no se verá favorecida la aparición de la sarna pues, además de un pH adecuado, la concentración de calcio de cambio es menor de $7,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ y en porcentaje inferior al 85% (Lema, 1996).

Las bajas concentraciones de aluminio en el complejo de cambio, no presentarán ningún problema para el cultivo de la patata.

La respuesta al test de Fielde (pH en NaF) es negativa (pH en NaF < 9), con lo cual no se producirá fijación de fosfatos por componentes de baja cristalinidad. Esto supone, desde un punto de vista agronómico, que no serán significativas las pérdidas de fósforo por fijación sobre este tipo de materiales y que el suelo presenta una baja capacidad amortiguadora para el fósforo. Desde un punto de vista ambiental, debe destacarse el riesgo de exportación de fosfato en las aguas de drenaje o escorrentía.

5.2. ENSAYO DE FERTILIZACIÓN MIXTA

5.2.1. Suelo

pH

Los valores medios de pH del suelo en agua para los distintos tratamientos y fechas de muestreo se presentan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6.- Valores medios de pH en agua para las distintas fechas de los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Valores medios de pH en agua											
	1998				1999				2000			
	25 ddp 08/06	53 ddp 06/07	81 ddp 03/08	117 ddp 08/09	37 ddp 27/05	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	149 ddp 16/09	14 ddp 30/05	35 ddp 20/06	53 ddp 07/07	120 ddp 13/09
CONTROL	5,3	5,6	5,5	5,7	5,5	5,4	5,6	5,4	5,4	4,9	5,2	5,2
O1M1	5,0	5,4	5,3	5,2	5,2	5,1	5,2	5,1	4,9	4,7	5,0	4,9
O1M2	4,7	4,7	4,8	4,8	5,5	5,2	5,5	5,1	5,1	4,8	5,1	5,1
O1M3	4,8	5,3	5,0	5,1	5,1	5,0	5,2	5,2	4,9	4,7	5,0	5,0
O2M1	5,3	5,6	5,4	5,4	5,2	4,9	5,1	5,3	5,0	4,5	5,0	5,0
O2M2	4,9	4,9	4,8	5,6	5,6	5,4	5,7	5,3	4,8	4,8	5,1	5,2
O2M3	5,0	5,2	5,2	5,2	5,2	5,0	5,2	5,3	4,9	4,5	4,9	4,9
O3M1	4,8	5,1	5,0	5,1	5,0	5,1	5,3	5,4	4,9	4,6	5,0	5,0
O3M2	4,9	4,8	4,8	5,2	5,3	5,4	5,5	5,4	5,1	4,8	5,2	5,1
O3M3	5,0	5,2	5,0	5,0	5,6	5,1	5,5	5,5	5,0	4,6	5,2	5,0
O	5,4	5,9	5,7	5,7	5,3	5,3	5,6	5,6	5,2	4,9	5,4	5,2
M	5,0	5,3	5,2	5,2	4,8	4,5	4,8	4,8	4,9	4,6	5,0	4,9

Los valores de pH en agua en el presente estudio se encuentran con frecuencia por debajo del rango óptimo (5,5-6,5) especificado para producción de patata por Alonso Arce (1996) y siempre dentro del rango de 4,5-7,0 señalado por Porta *et al.* (1994). Un 47% de los valores se encuentran dentro del intervalo de 5,2-5,6 propuesto por Lema como óptimo para el cultivo de la patata. En la mayoría de los casos el pH en agua es inferior a 5,5, por lo que no cabe esperar, en general, incidencia de sarna común problemas asociada a pHs elevados.

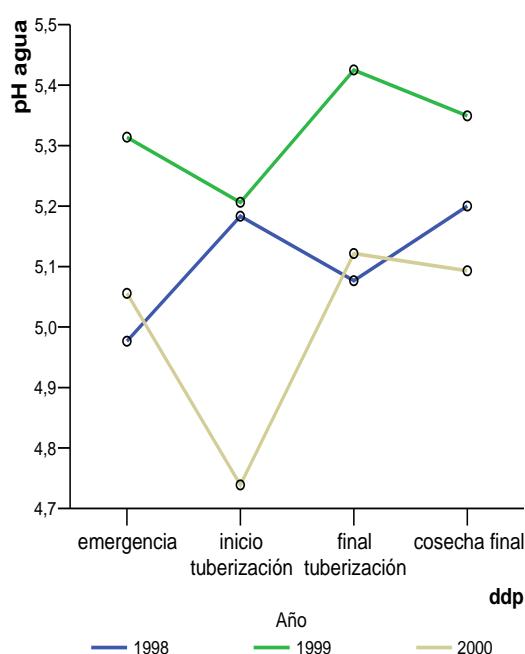
Los valores de pH en agua están influenciados significativamente ($p < 0,05$) por el año y la fecha de muestreo, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica, año x tratamiento de fertilización mineral y año x fecha ($p < 0,05$).

Los valores de pH en agua a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente mayores en el año 1999 que en 1998 y 2000 ($p < 0,05$, Figura 5.5). Los valores de pH más bajos en 2000 podrían ser debidos a la precipitación más alta al inicio del ciclo en este año

(Figura 5.2), que favorecería la mineralización de materia orgánica y la nitrificación, o simplemente a ligeras diferencias entre las parcelas utilizadas en cada uno de los años.

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que el pH en agua está influenciado por la fecha y el tratamiento de fertilización mineral no habiendo interacción entre ambos factores.

En lo que se refiere a la variación de pH a lo largo del ciclo de cultivo, el pH en agua (Figura 5.5) presenta valores significativamente ($p < 0,05$) más bajos en los muestreos del 08/06/98 (25 ddp, emergencia) y 14/06/99 (55 ddp) y 20/06/00 (35 ddp), que corresponden al inicio de la tuberización. Este mínimo al final de la primavera es debido presumiblemente a la acidificación resultante de procesos de mineralización de la materia



orgánica y/o procesos de nitrificación, ambos favorecidos por los valores elevados de humedad y temperatura del suelo en primavera. En experiencias similares de fertilización en Granada, Jiménez (1994) encuentra, en general, una tendencia creciente del pH del suelo desde el inicio de la tuberización hasta la cosecha y, en ocasiones, una disminución entre la fecha de máximo desarrollo vegetativo y la cosecha.

Figura 5.5.- Valores de pH en agua para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

En el muestreo siguiente de cada año se observa un aumento de pH, alcanzando el valor máximo. Este aumento parece debido a que la absorción de nitrógeno por la planta en esta fase (tuberización) es muy importante, como se verá al analizar los niveles de nitrato. La absorción de aniones (NO_3^-) lleva consigo una disminución de la acidez del suelo.

El nuevo descenso del pH que se produce a continuación, puede deberse a que al final de la tuberización la planta ya ha absorbido el 60% del nitrógeno total (Kleinkopf *et al.* 1981), de manera que la intensidad de absorción se reduce, mientras continúa la absorción de K^+ , que se traduce en una acidificación del suelo (Harris, 1992).

El análisis de la influencia del tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto diferencias significativas ($p < 0,05$). El comportamiento es el mismo en los años 1999 y 2000 y ligeramente distinto en el año 1998, pero siempre el pH en agua más alto corresponde a las parcelas control. Se presentan como ejemplo los valores de pH en agua de los años 1998 y 2000 (Figura 5.6).

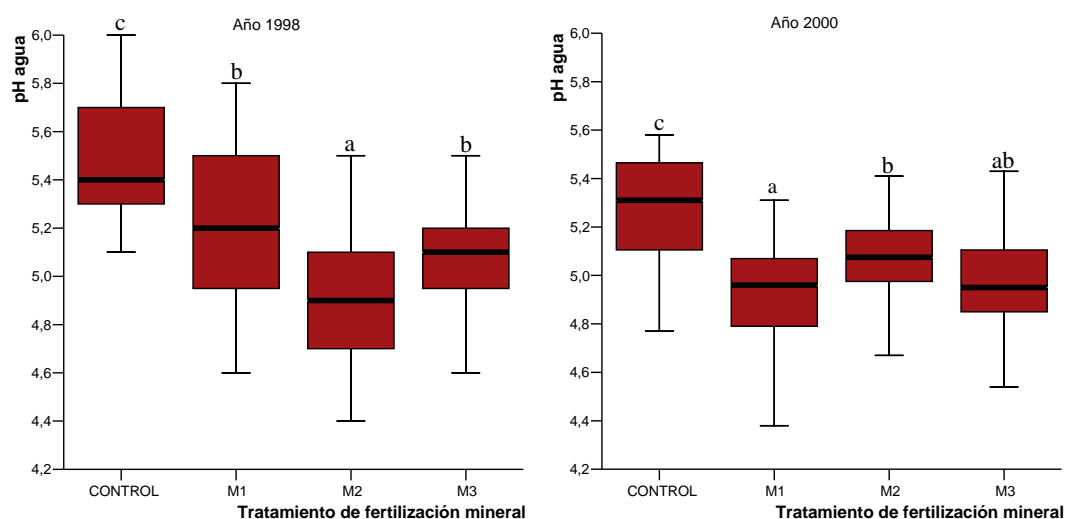


Figura 5.6.- Valores de pH en agua para los años 1998 y 2000 en función del tratamiento de fertilización mineral

Los menores valores de pH en agua en las parcelas fertilizadas pueden ser atribuidos a un mayor crecimiento vegetal, que llevaría consigo una mayor absorción por la planta de cationes alcalinos y alcalinotérreos. Asimismo la mayor fertilización favorece la actividad biológica, promoviendo la mineralización de la materia orgánica, que libera CO_2 , y la nitrificación, ambos procesos generadores de acidez (Paul *et al.*, 2001; Debreczeni y Kismanyoky, 2005). Esta actividad biológica está particularmente favorecida cuando se combinan la fertilización orgánica y la mineral, de modo que existe un sustrato mineralizable así como nutrientes fácilmente disponibles.

En los tres años de estudio el control y el tratamiento O se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento M (Figura 5.7). Los mayores valores de pH se presentan en las parcelas O y control, que no se diferencian significativamente ($p < 0,05$) entre ellas pero sí de las parcelas M (que presentan los menores valores de pH). El efecto tampón de la materia orgánica puede explicar la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos control y O.

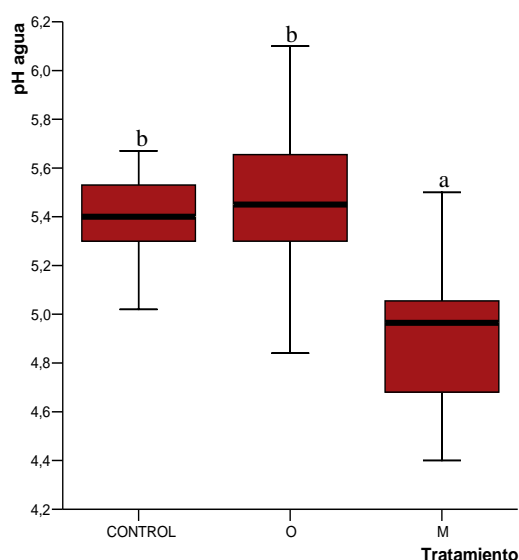
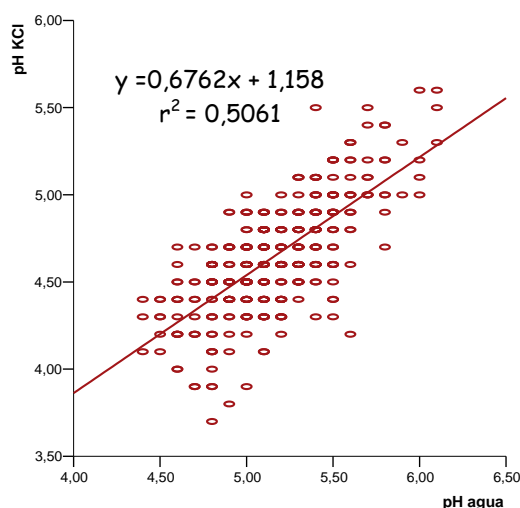


Figura 5.7.- Comparación de los valores de pH en agua en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

El pH en KCl presenta valores entre 0,1 y 1,2 unidades inferiores a los de pH en agua (Tabla 5.7). Un 87% de los valores son inferiores o iguales a 4,8, valores propuestos por Lema (1996) óptimos para el cultivo de la patata.

Tabla 5.7.- Valores medios de pH en KCl para las distintas fechas de los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Valores medios de pH en KC 0,1M											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	4,8	4,7	4,5	4,8	4,4	4,5	4,5	4,7	4,8	4,4	4,6	4,7
O1M1	4,7	4,2	4,4	4,7	4,3	4,4	4,6	4,4	4,5	4,3	4,4	4,5
O1M2	4,5	3,6	4,0	4,4	4,6	4,9	5,0	4,7	4,8	4,5	4,6	4,7
O1M3	4,5	4,1	4,1	4,5	4,4	4,6	4,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,8
O2M1	5,0	4,6	4,6	5,0	4,3	4,5	4,5	4,6	4,5	4,4	4,5	4,6
O2M2	4,6	4,1	4,1	4,9	4,7	5,0	5,2	4,9	4,6	4,4	4,5	4,7
O2M3	4,8	4,3	4,4	4,8	4,4	4,7	4,8	4,8	4,6	4,3	4,5	4,8
O3M1	4,6	4,2	4,2	4,6	4,5	4,8	4,8	4,7	4,6	4,4	4,5	4,5
O3M2	4,7	4,1	4,1	4,6	4,6	5,1	5,1	4,8	4,7	4,6	4,7	4,7
O3M3	4,7	4,2	4,1	4,5	4,9	4,9	5,2	4,8	4,7	4,4	4,7	4,6
O	5,2	5,2	4,9	5,2	4,6	4,8	5,0	4,7	4,9	4,5	4,8	4,7
M	4,8	4,6	4,5	4,8	4,0	4,2	4,4	4,3	4,6	4,4	4,5	4,6



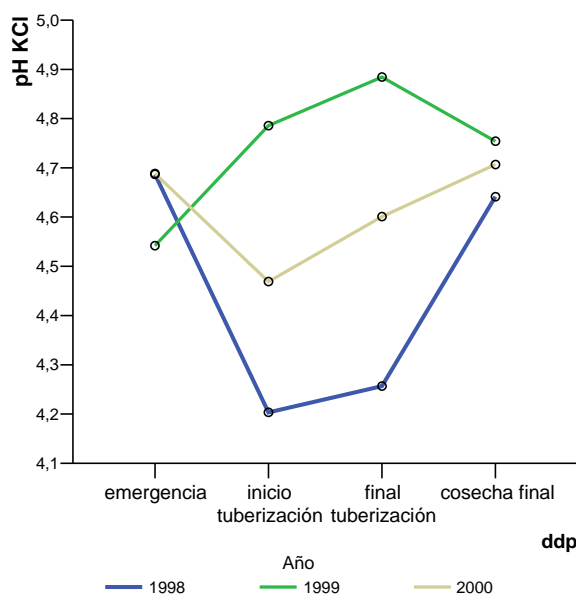
Los valores de pH en agua y KCl están directamente relacionados, de forma que a mayor acidez actual mayor será la acidez potencial (Figura 5.8).

Figura 5.8.- Relación entre el pH en agua y el pH en KCl

Los valores de pH en KCl están influenciados significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica, año x tratamiento de fertilización mineral y año x fecha ($p < 0,05$).

Los valores de pH en KCl a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente ($p < 0,05$) mayores en 1999 que en 1998 (Figura 5.9).

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que el pH en KCl está influenciado en los años 1998 y 1999 por la fecha, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre ambos factores. En el año 2000 está influenciado significativamente ($p < 0,05$) sólo por la fecha.



En lo que se refiere a la variación de pH a lo largo del ciclo de cultivo, el pH en KCl (Figura 5.9) presenta valores significativamente ($p < 0,05$) más bajos en los muestreos del 06/07/98 (53 ddp) y el 20/06/00 (35 ddp), que corresponden al inicio de la tuberización, y el 27/05/99 (37 ddp), que corresponde a la emergencia. El año 2000 presenta un mayor paralelismo en las variaciones temporales de pH en H_2O y en KCl.

Figura 5.9.- Valores de pH en KCl para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

La comparación de los tratamientos que combinan fertilización orgánica y mineral con el control pone de manifiesto que los valores de pH en KCl significativamente ($p < 0,05$) más altos corresponden al control en el año 1998 mientras que, en el año 1999 el control presenta los valores de pH significativamente ($p < 0,05$) más bajos (Figura 5.10a).

Si se compara el control con los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral, en los tres años de estudio el tratamiento O presenta valores de pH en KCl significativamente ($p < 0,05$) más altos que el tratamiento M y el control (Figura 5.10b).

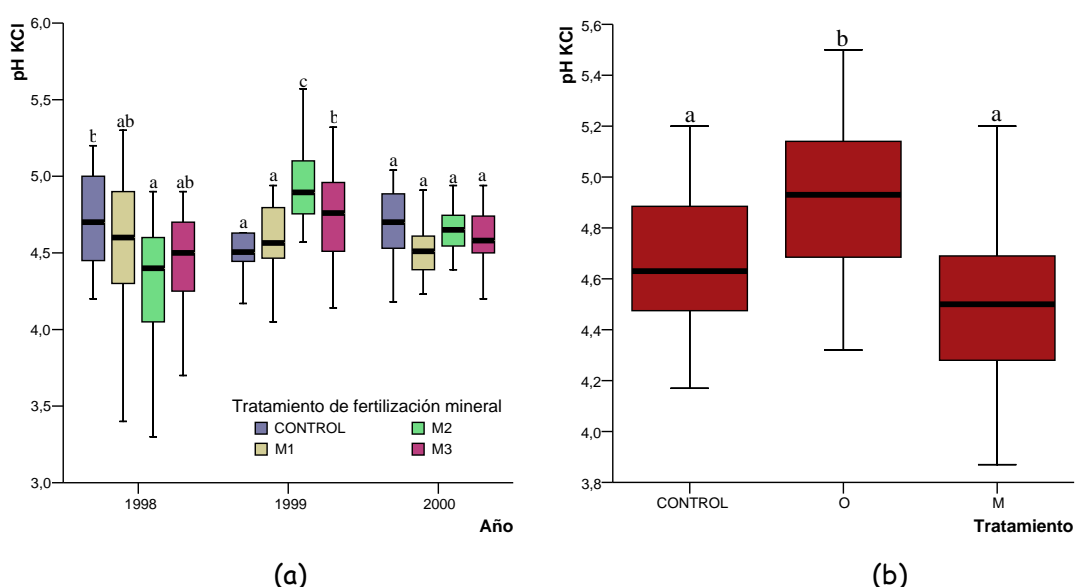


Figura 5.10.- a) Valores de pH en KCl para los tres años de estudio en función del tratamiento de fertilización mineral; b) Comparación de los valores de pH en KCl en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

Se han encontrado correlaciones significativas ($p < 0,01$) del pH en agua y pH en KCl con distintos parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.8.

Las correlaciones negativas con las concentraciones de nitrógeno total, amonio o nitrato reflejan la relación antes mencionada del pH con procesos de nitrificación. Similarmente la correlación con el porcentaje de carbono parece indicar una relación con procesos de mineralización o bien con grupos funcionales ácidos de la materia orgánica. Las necesidades nutritivas de los microorganismos nitrificadores y mineralizadores explicarían la correlación negativa del pH en KCl con el fósforo asimilable (Olsen). Por otra parte, es bien conocida la mayor disponibilidad del Ca a pHs más elevados.

Tabla 5.8.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del pH en agua y pH en KCl con distintos parámetros del suelo

	pH en agua	pH en KCl
pH en agua		0,680**
pH en KCl	0,680**	
Nitrato	-0,212**	
Amonio	-0,225**	
Nitrógeno total	-0,203**	-0,179**
Fósforo Olsen		-0,168**
% Carbono	-0,420**	-0,325**
Calcio de cambio	0,325**	0,516**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Carbono total y materia orgánica

La concentración de materia orgánica (pérdida por ignición) se determinó los tres años de ensayo a lo largo del ciclo de cultivo. La concentración de carbono total se determinó a lo largo del ciclo vegetativo en el año 1998 y en la primera fecha de muestreo en 1999 y 2000 (Tabla 5.9 y 5.10).

Tabla 5.9.- Porcentajes medios de materia orgánica a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

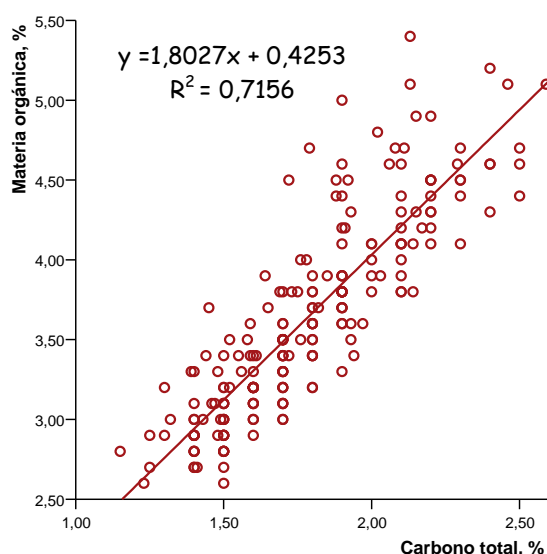
Tratamiento	Materia orgánica, %											
	1998				1999				2000			
	25 ddp 08/06	53 ddp 06/07	81 ddp 03/08	117 ddp 08/09	37 ddp 27/05	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	149 ddp 16/09	14 ddp 30/05	35 ddp 20/06	53 ddp 07/07	120 ddp 13/09
CONTROL	3,0	3,1	2,9	2,9	3,5	3,5	3,6	3,5	4,4	3,6	4,5	3,7
O1M1	3,5	3,7	3,5	3,3	3,7	3,4	3,7	3,2	4,3	3,6	3,7	3,2
O1M2	3,7	3,7	3,6	3,4	3,2	4,0	3,4	3,2	4,5	4,3	4,2	3,8
O1M3	3,8	3,6	3,5	3,5	3,4	3,5	3,8	3,3	3,6	4,3	4,2	3,4
O2M1	3,6	3,4	3,6	3,5	3,4	3,9	3,6	3,3	4,3	3,5	4,4	3,5
O2M2	3,7	3,7	3,7	3,4	3,1	3,2	3,8	2,9	4,4	3,9	4,3	3,9
O2M3	3,6	3,7	3,7	3,6	3,4	3,0	3,4	3,2	4,2	3,9	3,4	3,5
O3M1	3,9	3,8	3,8	3,7	3,4	3,4	3,4	3,0	4,6	4,6	3,7	3,9
O3M2	4,1	4,1	4,0	3,9	2,8	2,8	3,0	2,8	4,8	4,3	3,8	4,1
O3M3	3,9	3,8	3,7	4,1	3,0	3,0	3,2	2,9	4,5	4,0	4,0	3,6
O	3,1	3,1	3,2	3,1	3,8	3,7	3,5	2,2	4,5	4,1	4,3	3,9
M	3,1	3,0	3,1	3,0	3,2	3,4	3,7	3,5	4,4	4,3	4,1	3,6

Como se puede ver en las Tablas 5.9 y 5.10, las concentraciones de carbono total y de materia orgánica son bastante bajas en las parcelas que no recibieron gallinaza e incluso en aquellas con fertilización exclusivamente orgánica (O), en comparación con los valores normales de los suelos de Galicia. El cultivo de patata conduce frecuentemente a bajas concentraciones de materia orgánica del suelo (Saini y Grant, 1980; Angers *et al.*, 1999; Edwards *et al.*, 2000; Grandy *et al.*, 2002; Carter *et al.*, 2004; Stark y Porter, 2005).

Tabla 5.10.- Porcentajes medios de carbono total a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Carbono total, %					
	1998				1999	2000
	25 ddp 08/06	53 ddp 06/07	81 ddp 03/08	117 ddp 08/09	37 ddp 27/05	14 ddp 30/05
CONTROL	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6	2,0
O1M1	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,8
O1M2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	2,2
O1M3	1,8	1,8	1,9	1,8	1,6	1,8
O2M1	1,9	1,8	1,9	1,8	1,5	2,1
O2M2	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,9
O2M3	1,8	1,8	1,9	1,8	1,6	1,8
O3M1	2,0	1,9	2,0	1,9	1,4	1,8
O3M2	2,0	2,0	2,1	2,0	1,4	2,2
O3M3	2,0	2,0	1,9	2,1	1,3	1,9
O	1,6	1,6	1,6	1,5	1,7	2,0
M	1,5	1,5	1,6	1,5	1,4	2,2

Considerando todos los datos obtenidos de materia orgánica y carbono total para el año 1998, se obtiene un valor medio de la relación materia orgánica/carbono de 1,975 frente al valor estándar de 1,724. Por otro lado, si lo que se hace con los datos es un

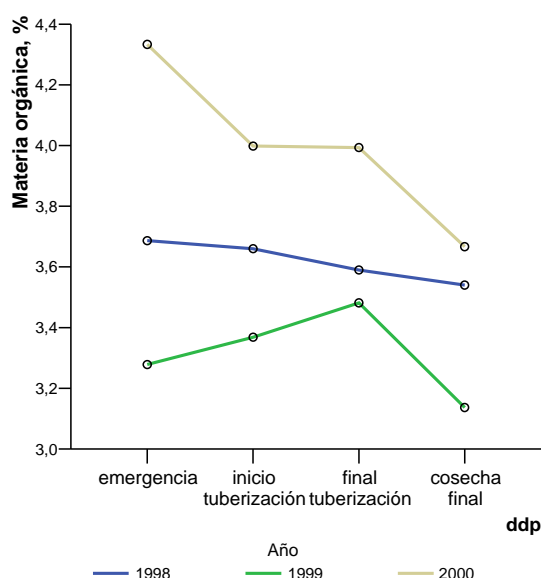


análisis de regresión (Figura 5.11) la pendiente de la recta (1,795) se aproxima más al valor estándar de dicha relación. Para los otros dos años los valores de las relaciones son superiores (2,18) y el valor de la pendiente es superior para el año 1999 (1,866) e inferior para el año 2000 (1,212). Si se tienen en cuenta los tres años juntos, el valor medio de la relación es de 2,04 y el de la pendiente es de 1,803.

Figura 5.11.- Relación entre el % de Carbono y el % de Materia orgánica para los tres años de estudio juntos

Los porcentajes de materia orgánica están afectados significativamente por el año y la fecha, no habiendo interacción año x fecha. El porcentaje de materia orgánica en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en el año 2000, siendo menor en los años 1998 y 1999 ($p < 0,05$). La variación con la fecha para cada ciclo vegetativo se

presenta en la Figura 5.12. El tratamiento de fertilización orgánica o mineral no influye significativamente en el porcentaje de materia orgánica del suelo. El hecho de que no se observe un efecto de la fertilización orgánica en el contenido de materia orgánica del suelo podría relacionarse con una rápida mineralización de la materia orgánica incorporada, posiblemente potenciada por la fertilización inorgánica. Algunos autores encuentran que la



fertilización NPK reduce a corto plazo el contenido de materia orgánica del suelo (López Díaz, 2004).

Los porcentajes de carbono total están afectados significativamente por el año, siendo significativamente mayores ($p < 0,05$) en los años 2000 y 1998.

Figura 5.12.- Porcentaje de materia orgánica para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

En los tres años de estudio no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos M y O ni para la materia orgánica ni para el carbono total.

Se han encontrado correlaciones significativas ($p < 0,01$) del porcentaje de materia orgánica y del carbono con distintos parámetros del suelo para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de materia orgánica y de carbono con distintos parámetros del suelo

	% Materia orgánica	% Carbono
pH en agua	-0,325**	-0,420**
Nitrógeno total	0,263**	0,591**
Amonio	0,239**	0,465**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

La correlación con el pH en agua puede reflejar la mayor dificultad de mineralización a pH ácido o bien la mayor acidez generada por mineralización cuando el porcentaje de materia orgánica es más elevado.

Nitrógeno total

Al igual que el carbono total, en 1998 se determinó el nitrógeno total a lo largo del ciclo de cultivo (8 de Junio, 6 de Julio, 3 de Agosto y 8 de Septiembre). En 1999 y 2000 se determinó el nitrógeno total únicamente en la primera fecha de muestreo (27/05/99 y 30/05/00). Los resultados se presentan en la Tabla 5.12.

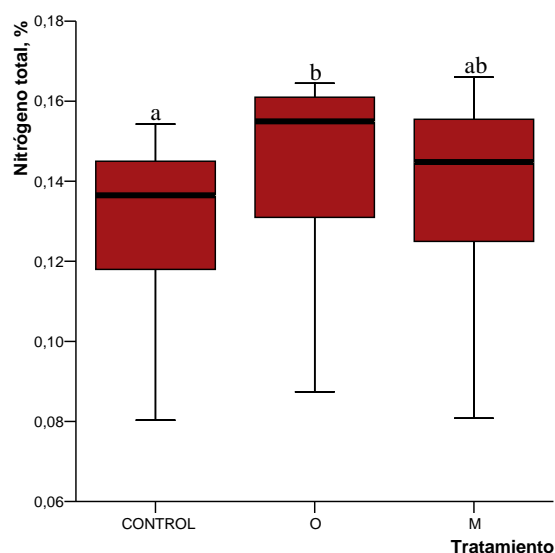
Las concentraciones de nitrógeno total están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica. La concentración de nitrógeno total en el suelo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000 (Tabla 5.12). Estas diferencias vienen determinadas por las concentraciones en el suelo inicial de las parcelas utilizadas en los tres años.

Tabla 5.12.- Concentraciones medias de nitrógeno total (%) a lo largo del ciclo de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Nitrógeno total (%)					
	1998				1999	2000
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	14 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	30/05
CONTROL	0,141	0,137	0,134	0,150	0,089	0,114
O1M1	0,159	0,159	0,160	0,165	0,094	0,101
O1M2	0,172	0,167	0,156	0,167	0,088	0,131
O1M3	0,161	0,160	0,161	0,164	0,094	0,104
O2M1	0,169	0,160	0,164	0,157	0,088	0,130
O2M2	0,184	0,173	0,177	0,163	0,086	0,110
O2M3	0,165	0,162	0,178	0,163	0,099	0,107
O3M1	0,181	0,170	0,181	0,169	0,085	0,110
O3M2	0,211	0,183	0,185	0,185	0,075	0,136
O3M3	0,193	0,179	0,167	0,177	0,071	0,123
O	0,161	0,157	0,150	0,160	0,110	0,122
M	0,154	0,146	0,142	0,151	0,083	0,136

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de nitrógeno total en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas significativamente ($p<0,05$) sólo en el año 1998 por la dosis de fertilización orgánica. Posiblemente el disponer únicamente de una fecha de muestreo en 1999 y 2000 no permite apreciar efectos significativos de la fertilización orgánica.

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica en el año 1998 pone de manifiesto que las concentraciones más elevadas de nitrógeno total corresponden a las parcelas que recibieron la dosis más elevada de gallinaza, es decir, O3, significativamente ($p<0,05$) diferentes de las obtenidas en las parcelas control.



Asimismo en los tres años de estudio los suelos que recibieron tratamiento O presentan concentraciones de nitrógeno significativamente más altas que el control (Figura 5.13).

Figura 5.13.- Comparación de las concentraciones de nitrógeno total, % en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

Se han encontrado correlaciones significativas del nitrógeno total con distintos parámetros del suelo y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del N total con distintos parámetros del suelo

	Nitrógeno total
pH agua	-0,203**
P Mehlich 3	-0,214*
% Carbono	0,591**
Nitrato	0,366**
Potasio de cambio	0,374**
Calcio de cambio	0,214**
Manganeso Mehlich 3	0,435**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

La correlación con el pH en agua puede reflejar la mayor dificultad de mineralización a pH ácido. La correlación con el P Mehlich 3 se comentará en el apartado correspondiente a este elemento. Las restantes correlaciones parecen indicar el origen común de diversos elementos asimilables en la materia orgánica.

Relación carbono/nitrógeno

A partir del carbono total y del nitrógeno total, parámetros estudiados en los cuatro muestreos del año 1998 y en uno de los muestreos de los años 1999 y 2000 ya indicados, se

obtienen los valores de la relación carbono/nitrógeno para los diferentes tratamientos en cada una de las fechas (Tabla 5.14).

La relación carbono/nitrógeno está afectada por el año, siendo significativamente mayor ($p<0,05$) en los años 1999 y 2000. Esta diferencia refleja una cierta heterogeneidad de la finca donde se instalaron las parcelas experimentales.

En los tres años de estudio el control presenta una relación C/N significativamente ($p<0,05$) mayor que el tratamiento O, lo que refleja la riqueza en nitrógeno de la gallinaza en la relación con la materia orgánica del suelo.

Tabla 5.14.- Relación carbono/nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Relación C/N					
	1998				1999	2000
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	14 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	30/05
CONTROL	10,7	10,6	10,5	10,1	17,9	17,7
O1M1	10,8	11,2	11,4	10,6	17,1	182
O1M2	10,6	10,8	11,3	10,8	17,4	16,7
O1M3	11,3	11,2	11,7	10,9	16,7	17,1
O2M1	11,1	11,0	11,4	11,1	17,6	16,5
O2M2	10,1	10,8	10,8	10,8	18,2	18,3
O2M3	10,8	10,9	10,8	11,1	16,9	17,3
O3M1	10,8	11,2	11,0	11,3	17,0	17,3
O3M2	9,8	11,1	11,0	10,9	18,2	16,2
O3M3	10,3	11,3	11,3	11,7	18,9	15,8
O	9,9	10,3	10,8	9,5	16,1	16,5
M	9,9	10,5	11,1	10,0	17,3	16,2

Nitrógeno mineralizable

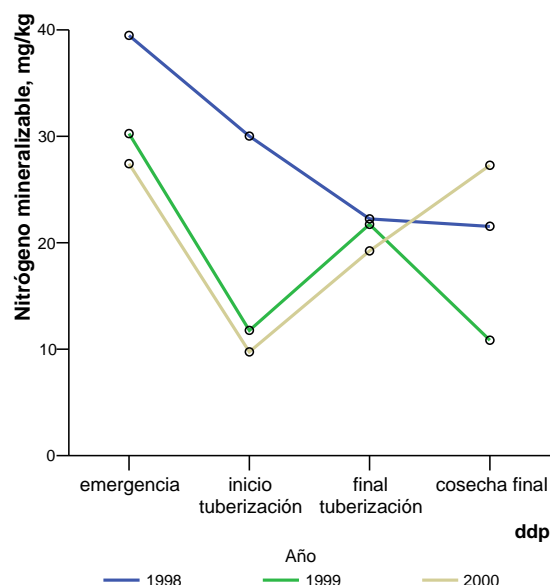
Las concentraciones de nitrógeno mineralizable varían en amplios rangos a lo largo del periodo de cultivo, como se puede ver en la tabla que se adjunta (Tabla 5.15).

Las concentraciones de nitrógeno mineralizable están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x fecha. La concentración de nitrógeno mineralizable en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 que en 1999. La diferencia viene determinada por diferencias en las concentraciones iniciales de nitrógeno mineralizable en el suelo utilizado cada año, mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años.

Tabla 5.15.- Concentraciones medias de nitrógeno mineralizable (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Nitrógeno mineralizable, mg kg^{-1}											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	36,8	28,2	22,3	19,4	30,1	11,1	28,1	5,5	32,2	3,2	20,5	25,5
O1M1	32,9	25,2	18,8	19,9	20,1	17,2	20,7	20,5	21,3	7,1	17,3	22,0
O1M2	34,1	27,4	19,4	17,3	27,7	9,6	10,6	17,2	19,4	16,0	20,4	27,0
O1M3	33,9	28,2	20,8	22,0	30,3	8,4	31,0	6,6	22,9	11,4	8,2	26,3
O2M1	33,0	30,6	22,5	21,3	30,5	18,7	34,7	18,5	25,3	6,6	19,8	29,9
O2M2	43,2	34,5	22,7	19,1	18,0	6,4	22,3	2,4	23,0	13,5	14,6	32,7
O2M3	42,1	28,7	27,2	24,0	33,6	8,7	14,9	16,9	26,2	7,2	22,3	22,7
O3M1	41,7	31,9	25,5	27,5	26,4	11,3	18,0	13,4	34,2	9,4	5,5	30,3
O3M2	48,1	30,4	25,5	28,9	60,4	17,0	28,6	5,3	40,4	8,5	27,3	27,9
O3M3	44,9	35,3	17,7	16,1	25,6	9,3	8,6	2,2	33,0	10,6	34,4	26,9
O	46,3	38,0	24,5	29,2	41,4	13,7	15,0	14,3	15,3	9,0	18,5	31,9
M	32,3	22,8	21,6	19,5	24,7	23,1	32,4	10,7	25,1	8,2	31,4	19,7

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de nitrógeno mineralizable en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) en los años 1999 y 2000 por la fecha y en el 1998 por la fecha y la dosis de fertilización orgánica, no habiendo interacción entre dichos factores.

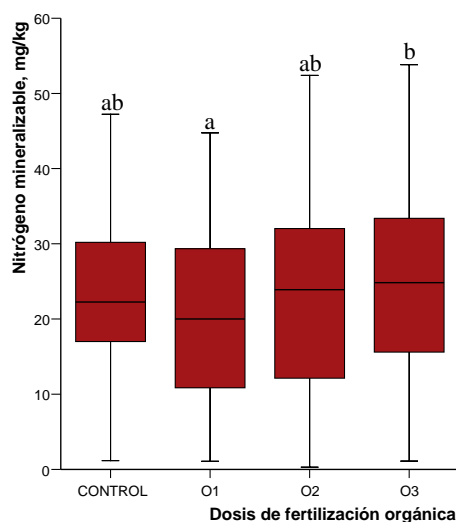


Es en la fase de emergencia del cultivo cuando se presentan los mayores niveles de nitrógeno mineralizable (Figura 5.14).

Figura 5.14.- Concentraciones de nitrógeno mineralizable, mg kg^{-1} para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica en el año 1998 pone de manifiesto que las concentraciones más elevadas de nitrógeno mineralizable corresponden a

las parcelas tratadas con la dosis más elevada de gallinaza, es decir, O3, significativamente diferente ($p < 0,05$) de las parcelas con dosis O1 (Figura 5.15).



En los tres años de estudio no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos M y O. El aporte de fertilización orgánica, sin aportar simultáneamente nutrientes minerales, fácilmente disponibles, no produce aumento significativo del nitrógeno mineralizable.

Figura 5.15.- Comparación de las concentraciones de nitrógeno mineralizable, mg kg^{-1} en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

Se han encontrado correlaciones significativas ($p < 0,01$) del nitrógeno mineralizable con distintos parámetros del suelo mostradas en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del N mineralizable con distintos parámetros del suelo

	Nitrógeno mineralizable
pH agua	0,100**
P Mehlich 3	0,199**
Nitrato	0,134**
Potasio de cambio	0,314**
Calcio de cambio	0,197**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Estas correlaciones ponen de nuevo de manifiesto la ya señalada procedencia orgánica de diversos macronutrientes fácilmente disponibles.

Nitrato y amonio

Las concentraciones de nitrato y de amonio extraíbles con KCl 2M del suelo varían en amplios rangos a lo largo del periodo de cultivo, como se puede ver en las dos tablas siguientes (Tablas 5.17 y 5.18).

Tabla 5.17.- Concentraciones medias de nitrato (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Nitrato (mg kg^{-1})											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	19,2	5,3	7,5	22,4	7,2	11,1	10,8	11,4	15,1	46,4	5,4	7,6
O1M1	40,6	7,2	5,6	47,7	12,2	14,2	16,0	14,7	21,1	26,2	7,7	6,5
O1M2	65,8	25,7	20,3	53,3	11,0	19,4	16,9	8,9	25,6	44,8	7,8	4,8
O1M3	41,0	6,6	8,4	26,9	18,0	30,5	20,9	11,4	20,6	36,7	6,6	6,2
O2M1	55,6	12,9	7,9	53,6	10,3	22,2	13,4	4,6	28,3	76,1	7,6	6,5
O2M2	88,9	42,9	27,0	39,0	15,5	32,3	18,9	11,7	21,3	60,7	8,7	5,8
O2M3	56,4	20,1	11,5	33,3	22,6	41,0	22,2	12,7	29,3	64,2	6,7	6,3
O3M1	68,5	37,4	27,4	65,6	35,2	26,8	22,8	10,4	32,7	56,8	6,9	6,2
O3M2	53,3	53,8	28,9	55,0	29,3	26,3	23,1	4,3	37,6	17,6	10,4	8,0
O3M3	59,8	22,6	23,7	41,7	21,8	53,6	19,4	15,1	44,5	69,6	11,7	5,5
O	76,7	27,1	26,0	56,6	26,0	30,5	12,3	13,2	48,2	77,0	14,3	7,6
M	74,3	31,3	27,9	72,8	17,5	37,9	21,3	13,4	23,1	34,8	9,0	5,9

Tabla 5.18.- Concentraciones medias de amonio (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

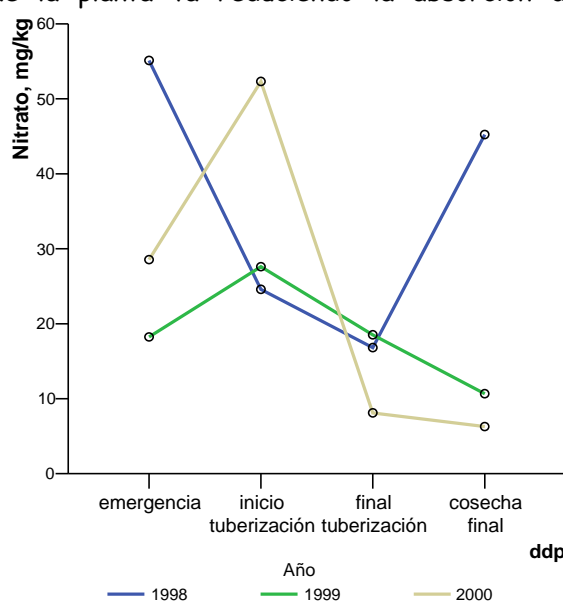
Tratamiento	Amonio (mg kg^{-1})											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	0,0	3,6	3,3	0,6	5,2	18,2	22,8	17,7	23,6	16,2	8,4	5,7
O1M1	3,5	7,0	1,7	28,4	5,6	15,1	18,2	13,3	17,6	5,7	7,0	4,0
O1M2	32,9	25,7	9,8	26,1	6,4	16,3	15,4	13,8	31,1	9,2	7,7	4,8
O1M3	6,7	8,9	3,3	8,6	6,4	18,2	20,0	15,8	21,9	8,3	7,0	4,9
O2M1	0,0	5,8	2,5	13,6	5,0	17,1	12,5	19,8	19,1	8,0	6,7	4,9
O2M2	46,2	24,5	2,8	16,3	4,3	21,7	19,9	41,0	38,8	15,1	9,2	4,7
O2M3	5,6	14,6	2,8	14,8	4,9	18,8	24,8	16,6	44,4	6,9	6,7	6,2
O3M1	6,8	17,1	4,0	33,4	7,4	25,3	23,4	18,5	20,6	63,8	6,7	5,6
O3M2	49,2	42,8	9,5	31,9	6,1	12,5	25,0	13,2	24,6	32,7	7,9	5,1
O3M3	30,8	10,3	4,5	20,5	13,4	20,3	18,0	15,3	25,0	49,0	13,3	5,0
O	0,7	6,4	0,7	9,6	5,1	17,9	14,2	19,4	29,1	10,2	13,2	4,5
M	3,4	13,2	1,7	8,6	5,5	26,2	26,2	15,9	29,9	11,4	7,5	4,5

Las concentraciones medias de nitrato están influenciadas significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$), habiendo interacción año x fecha, año x tratamiento de fertilización mineral y fecha x dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$).

La concentración de nitrato en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 1998 que en 1999 y 2000, lo mismo que el nitrógeno total. Estas diferencias vienen determinadas por diferencias en las concentraciones iniciales de nitrato en el suelo utilizado cada año, mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años.

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de nitrato en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas ($p<0,05$) significativamente en los años 1998 y 1999 por la fecha, la dosis de fertilización orgánica y la dosis de fertilización mineral, habiendo interacción fecha x dosis de fertilización orgánica y fecha x tratamiento de fertilización mineral. En el año 2000 la concentración de nitrato sólo está influenciada ($p<0,05$) significativamente por la fecha de muestreo.

Se comprueba que existen diferencias significativas entre algunas fechas en los tres años de estudio, presentándose la máxima concentración de nitrato en el inicio de la tuberización en los años 1999 y 2000 y en la emergencia en el año 1998. En este año el nitrato presenta un nivel mínimo en la parte media del ciclo (Figura 5.16), lo cual, según Kleinkopf *et al* (1981), se debe a que al final de la tuberización la planta ya ha absorbido el 60% del nitrógeno total; a partir de entonces, se produce un aumento en la concentración de nitrato debido presumiblemente a la mineralización de la materia orgánica del suelo y a que la planta va reduciendo la absorción de este nutriente. La mineralización está



favorecida por las altas temperaturas que en estas fechas se alcanzan en la zona, así como por la humedad que se proporciona a través del riego. Esta pauta no se cumple, sin embargo, en los años 1999 y 2000; la mayor producción en estos dos años lleva consigo una mayor absorción de nitrato cuya concentración en el suelo sigue disminuyendo hasta el final del ciclo.

Figura 5.16.- Concentraciones de nitrato, mg kg^{-1} para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

Analizando separadamente cada fecha para cada año de ensayo se observa que las concentraciones de nitrato en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas ($p<0,05$) significativamente según se muestra en la Tabla 5.19. En las fechas no mostradas no se observan diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 5.19.- Diferencias significativas entre tratamientos para las concentraciones de nitrato en el suelo (mg kg^{-1}) en diferentes fechas

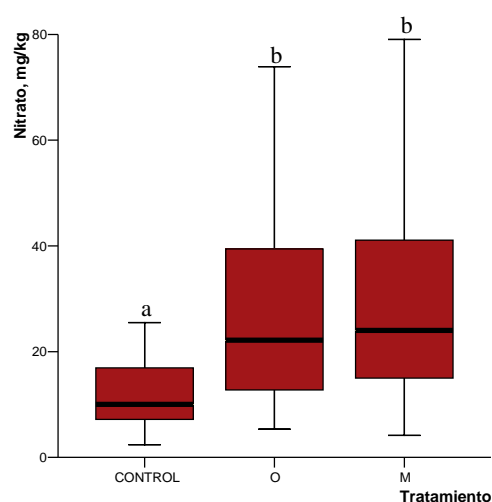
	Dosis Fertilización Orgánica	Nitrato, mg kg^{-1}	Tratamiento Fertilización Mineral	Nitrato, mg kg^{-1}
Inicio tuberización 1998	control	5,3 a	control	5,3 a
	O1	13,1 a	M1	19,2 b
	O2	25,3 b	M2	40,8 c
	O3	42,7 c	M3	18,5 b
Final tuberización 1998	control	7,5 a	control	7,5 a
	O1	11,4 ab	M1	13,6 a
	O2	15,5 b	M2	25,4 b
	O3	26,7 c	M3	14,5 a
Cosecha final 1998	control	-	control	23,2 a
	O1	-	M1	50,6 bc
	O2	-	M2	57,4 c
	O3	-	M3	35,1 ab
Emergencia 1999	control	7,1 a	control	-
	O1	13,6 ab	M1	-
	O2	16,8 b	M2	-
	O3	29,7 c	M3	-
Inicio tuberización 1999	control	11,1 a	control	11,1 a
	O1	20,1 ab	M1	22,1 a
	O2	32,9 b	M2	25,7 ab
	O3	34,3b	M3	38,9 b

En general, la concentración de nitrato aumenta con la dosis de fertilización orgánica. En cuanto a la fertilización mineral, en 1998 la máxima concentración corresponde al tratamiento M2 (KP), poniendo de manifiesto la importancia de determinados nutrientes en la disponibilización de otros nutrientes de la materia orgánica. El fósforo y el potasio promueven la actividad microbiana y, por tanto, la mineralización de la gallinaza, con la consiguiente liberación de nitrato. Este hecho está de acuerdo con la variación de pH del suelo, que en 1998 presenta el valor más bajo en las parcelas que recibieron el tratamiento M2 (Tabla 5.19). Un aumento de la nitrificación como resultado de la fertilización ha sido señalado por diversos autores (Fortuna *et al.*, 2003; Viadé, 2005).

En cuanto al año 2000, el de mayor producción, todo aporte adicional de fertilización parece traducirse en una mayor absorción por la planta, de modo que no se aprecian diferencias significativas en la concentración de nitrato en el suelo. Esto está de acuerdo con los valores significativamente mayores de recuperación de nitrógeno en ese año, como se verá en el capítulo correspondiente al tubérculo.

En el momento de la cosecha final, solamente se aprecian diferencias significativas entre tratamientos en el año 1998. Sorprendentemente, la mayor concentración de nitrato residual en el suelo, y por tanto el mayor riesgo de lixiviación de nitrato, no se produce en el tratamiento que incorpora fertilización con nitrato (M3), sino, como se ha comentado, en

el M2, que incorpora potasio y fósforo. Este hecho se relaciona con el mayor rendimiento de la cosecha en el tratamiento M3. La extracción de nitrógeno por el cultivo es mayor en este tratamiento, si bien, como se verá en el capítulo correspondiente al tubérculo, las diferencias con los tratamientos M1 y M2 no son significativas.



En los años 1998 y 1999 el control se diferencia significativamente ($p < 0,05$) de los tratamientos O y M, que no se diferencian significativamente entre sí (Figura 5.17). De forma similar, Hartl y Erhart (2005), en una rotación de cultivos, no encuentran diferencias significativas en la concentración de nitrato entre un suelo abonado con nitrógeno inorgánico o con compost.

Figura 5.17.- Comparación de las concentraciones de nitrato, mg kg^{-1} en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

Las concentraciones medias de amonio están influenciadas significativamente por la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$), habiendo interacción año \times fecha, año \times tratamiento de fertilización mineral, fecha \times dosis de fertilización orgánica y año \times fecha \times dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$).

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de amonio en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente en los años 1999 y 2000 por la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción fecha \times dosis de fertilización orgánica. En el año 1998 la concentración del amonio está influenciada ($p < 0,05$) significativamente por la fecha, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción fecha \times tratamiento de fertilización mineral.

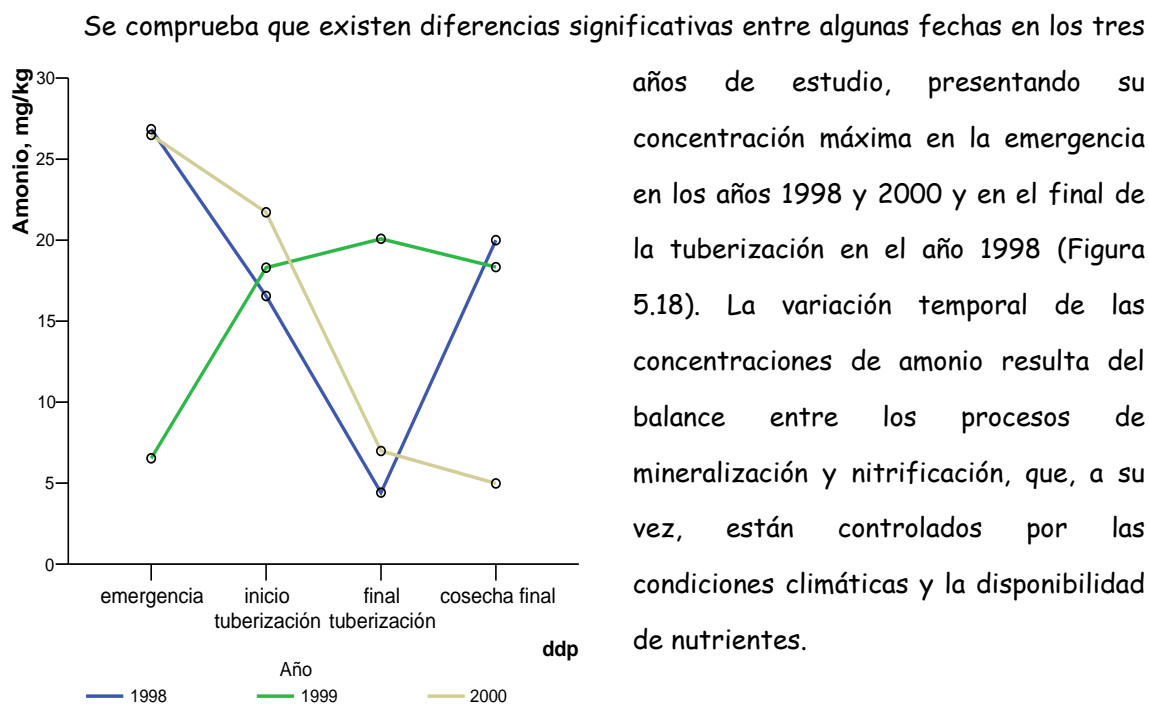


Figura 5.18.- Concentraciones de amonio, mg kg^{-1} para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

Analizando separadamente cada fecha para cada año de ensayo se observa que las concentraciones de amonio en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente según se muestra en la Tabla 5.20. En las fechas no mostradas no se aprecian diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 5.20.- Diferencias significativas entre tratamientos para las concentraciones de amonio en el suelo (mg kg^{-1}) en diferentes fechas

	Dosis Fertilización Orgánica	Amonio, mg kg^{-1}	Tratamiento Fertilización Mineral	Amonio, mg kg^{-1}
Cosecha final 1998	control	0,6 a	control	0,6 a
	O1	21,6 ab	M1	25,8 b
	O2	15,4 ab	M2	25,5 b
	O3	29,5 b	M3	15,1 ab
Cosecha final 1999	control	17,6 ab	control	17,6 ab
	O1	14,2 a	M1	16,7 ab
	O2	23,3 b	M2	23,2 b
	O3	16,1 a	M3	15,4 a

La variación de la concentración de amonio con la fertilización es menos consistente que la de nitrato, debido a la mencionada competencia entre procesos de producción (mineralización) y consumo (nitrificación) de amonio. En las fechas en que el tratamiento de

fertilización ejerce una influencia significativa, la máxima concentración de amonio corresponde, lo mismo que la de nitrato, al tratamiento M2.

Para el amonio en los tres años de estudio no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos O y M.

Se han encontrado correlaciones significativas del nitrato y del amonio con distintos parámetros del suelo y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del nitrato y del amonio con distintos parámetros del suelo

	Nitrato	Amonio
pH en agua	-0,212**	-0,225**
P Olsen	0,178**	0,111*
Nitrato		0,338**
Amonio	0,338**	
Nitrógeno total	0,366**	0,283**
Carbono total		0,465**
Potasio de cambio	0,581**	0,367**
Calcio de cambio	0,308**	

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

La correlación con el pH ya se comentó en el apartado correspondiente a este parámetro, relacionándola con la nitrificación. También podría deberse a un menor desarrollo vegetativo a pH ácido, con la consiguiente menor absorción de nutrientes. La correlación positiva con otros macronutrientes (potasio, fósforo, calcio) indica idéntica procedencia de estos nutrientes o bien que la mayor absorción de nitrógeno va acompañada por una mayor absorción de otros nutrientes. La correlación con el nitrógeno total refleja la importancia del nitrógeno orgánico como fuente de amonio y nitrato.

Fósforo asimilable (Olsen)

Las concentraciones de fósforo disponible en el suelo determinadas mediante el método Olsen son muy elevadas durante todo el ciclo del cultivo (Tabla 5.22), incluso en las parcelas sin fertilizar, de acuerdo con Roberts y Beaton (1988), que consideran como altas en suelos arenosos concentraciones superiores a 21 mg kg⁻¹. Otros autores, como Lema (1996), indican que los suelos tienen reservas suficientes para concentraciones superiores a 25 mg kg⁻¹. Estos altos niveles se deben a la elevada concentración que de este nutriente había inicialmente en el suelo (74, 69 y 61 mg kg⁻¹ en los años 1998, 1999 y 2000 respectivamente), que se incrementa con la fertilización.

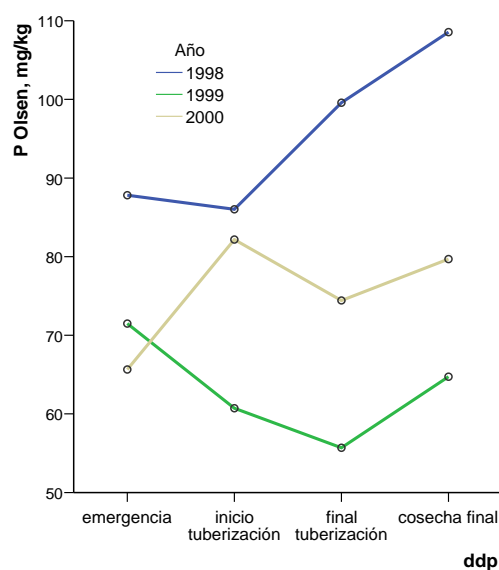
Tabla 5.22.- Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de fósforo disponible (Olsen) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Fósforo disponible (Olsen)(mg kg^{-1})											
	1998				1999				2000			
	25 ddp 08/06	53 ddp 06/07	81 ddp 03/08	117 ddp 08/09	37 ddp 27/05	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	149 ddp 16/09	14 ddp 30/05	35 ddp 20/06	53 ddp 07/07	120 ddp 13/09
CONTROL	71,5	74,9	73,0	91,1	68,8	58,0	52,2	66,9	61,2	78,8	62,1	70,0
O1M1	72,3	79,8	96,8	118,5	60,6	50,1	49,6	55,0	59,7	55,1	55,5	70,6
O1M2	92,3	96,2	98,5	112,1	77,2	63,7	55,6	69,4	62,5	63,0	105,2	74,5
O1M3	94,2	86,4	105,1	95,8	69,9	62,9	56,3	66,5	67,3	78,2	58,4	65,5
O2M1	67,4	68,3	81,7	89,2	62,6	50,5	47,8	51,1	67,7	67,2	61,9	91,7
O2M2	106,9	90,4	101,9	91,6	75,8	72,2	61,0	72,6	64,0	128,4	60,1	94,3
O2M3	93,5	86,9	103,0	103,6	81,7	58,6	52,6	67,7	64,2	80,0	99,4	75,7
O3M1	87,8	89,7	113,7	123,3	65,7	49,2	52,6	54,3	67,2	80,8	88,2	88,5
O3M2	96,4	91,0	115,9	123,6	78,9	68,6	63,4	82,8	72,8	80,8	88,2	88,5
O3M3	96,0	99,5	106,4	136,9	73,3	73,4	65,7	61,3	69,8	91,6	69,9	86,0
O	66,9	67,6	80,4	86,2	78,3	65,2	56,3	69,7	71,3	96,6	75,2	83,1
M	70,1	69,3	77,9	89,2	68,0	57,8	50,0	62,5	62,1	92,6	65,9	70,6

Las concentraciones medias de fósforo disponible (Olsen) están influenciadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$), habiendo interacción año x fecha ($p < 0,05$).

La concentración de fósforo asimilable (Olsen) en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998, obteniéndose los valores más bajos en 1999 (Figura 5.19). Las mayores concentraciones en 1998 están de acuerdo con la mayor concentración en el suelo inicial.

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de fósforo en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas significativamente



($p < 0,05$) en los años 1998 y 1999 por la fecha de muestreo. En los tres años se observa una tendencia al aumento del fósforo asimilable (Olsen) al final del ciclo, debido presumiblemente a la liberación de fósforo por mineralización de la materia orgánica y al cese de la absorción de este nutriente por el cultivo que, según Lorenz (1947), se produce tras el inicio de la tuberización.

Figura 5.19.- Concentraciones de P Olsen, mg kg^{-1} para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que las concentraciones significativamente ($p < 0,05$) más elevadas de fósforo disponible corresponden a las parcelas que recibieron la dosis más elevada de gallinaza, es decir, O3 (Figura 5.20a). La gallinaza aporta fósforo orgánico, que se transformará en formas asimilables por mineralización; esta mineralización está favorecida por los nutrientes aportados por la fertilización mineral. Como se puede ver en la Figura 5.21, cuando se aplica solamente fertilización inorgánica o sólo gallinaza, las concentraciones de fósforo disponible en el suelo son similares a los de las parcelas sin fertilizar. Esto puede ser debido a que en los tratamientos O y M el mayor desarrollo vegetal lleva consigo mayores extracciones, o bien al mayor pH en el caso del tratamiento O (el reactivo Olsen extrae menos a pH más alto).

El análisis de la influencia del tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el tratamiento M2, que contiene P y K y el tratamiento M1 (que contiene K) (Figura 5.20b).

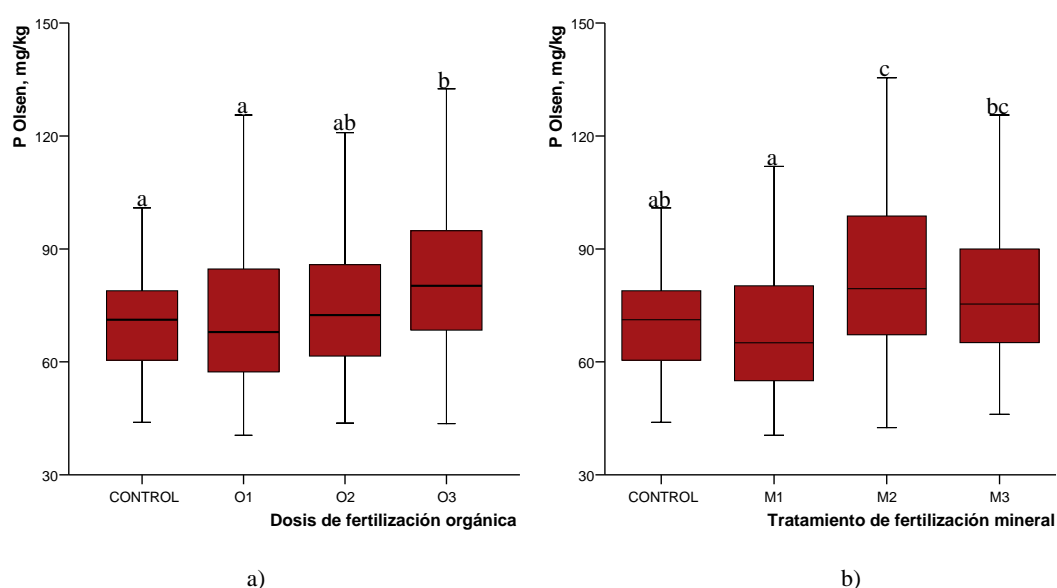


Figura 5.20.- Concentraciones de P Olsen, mg kg^{-1} en función de las dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b)

En los tres años de estudio no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos O y M (Figura 5.21).

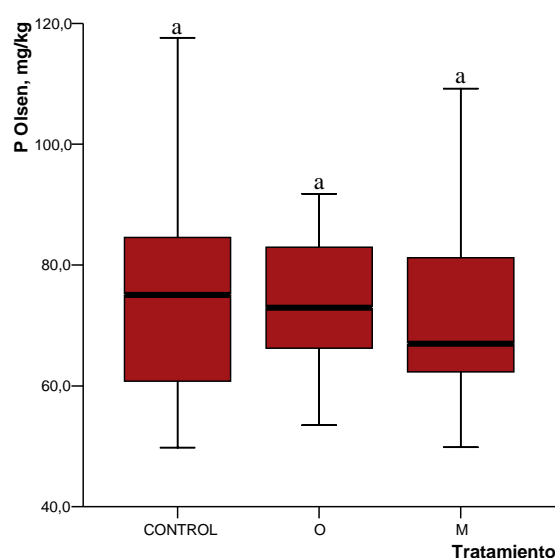
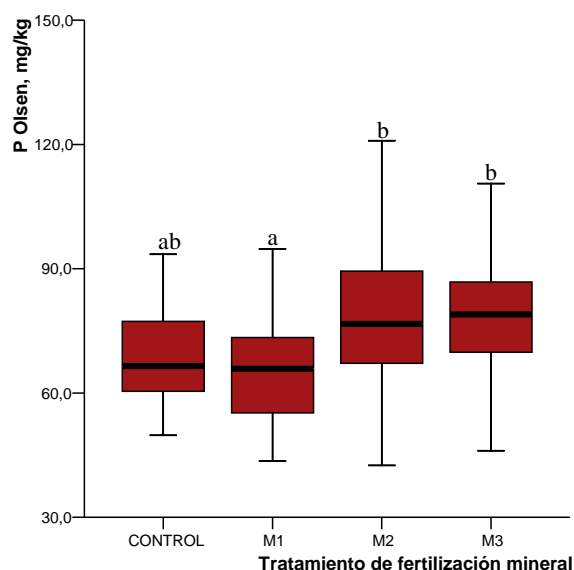


Figura 5.21.- Comparación de las concentraciones de P Olsen, mg kg^{-1} en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de ensayo y todas las fechas de muestreo

De acuerdo con Lorenz (1947), parece de interés analizar las diferencias entre tratamientos hasta el inicio de la tuberización, momento en el cual cesa la absorción de fósforo.

En el análisis de la dosis de fertilización orgánica hasta el inicio de la tuberización, analizando conjuntamente los datos de los tres años de ensayo no se encuentran diferencias significativas al nivel $p < 0,05$.



En cuanto al análisis del tratamiento de fertilización mineral, en este caso las dosis M2 y M3 (que llevan fósforo mineral) se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento M1 (Figura 5.22).

Figura 5.22.- Concentraciones de P Olsen, mg kg^{-1} en función del tratamiento de fertilización mineral hasta el inicio de la tuberización

Se han encontrado correlaciones significativas del P Olsen con distintos parámetros del suelo y para un nivel de significación de 0,01 (Tabla 5.23).

Tabla 5.23.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Olsen con distintos parámetros del suelo

	P Olsen
pH en KCl	-0,168**
P Mehlich 3	0,167**
Nitrato	0,178**
Nitrógeno total	0,625**
% Carbono total	0,463**
Relación C/N	-0,407**
Potasio de cambio	0,199**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Estas correlaciones indican una estrecha relación entre el fósforo Olsen y la materia orgánica, que aporta simultáneamente diversos nutrientes. La facilidad de mineralización de la materia orgánica, asociada con bajos valores de la relación C/N implica mayores concentraciones de P asimilable.

La mayor extracción del reactivo Olsen a pH ácido ha sido puesta de manifiesto anteriormente (Fernández Marcos, 1997).

La correlación entre P asimilable extraído por los métodos Olsen y Mehlich 3, si bien es altamente significativa, presenta un coeficiente de regresión notablemente bajo.

Fósforo asimilable (Mehlich 3)

El método Mehlich 3, además de permitir la determinación simultánea de múltiples macro y micronutrientes, se considera más adecuado que el Olsen para suelos ácidos (Fernández Marcos, 1997).

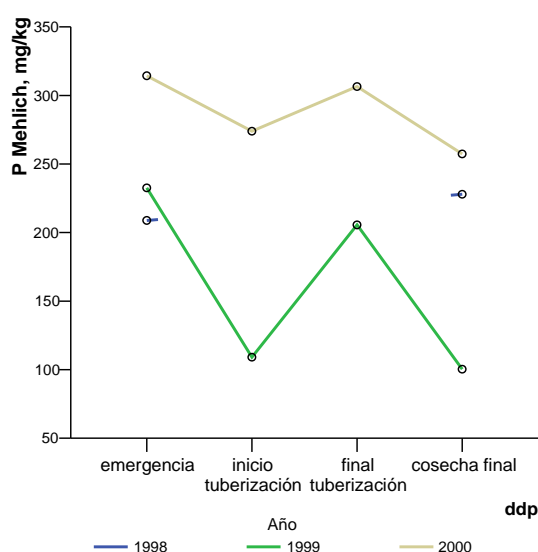
Las concentraciones de fósforo disponible determinado mediante el reactivo Mehlich 3 en el suelo son, lo mismo que las determinadas por el método Olsen, muy elevadas durante todo el ciclo del cultivo (Tabla 5.24), incluso en las parcelas sin fertilizar. Mehlich (1984), establece como valor crítico para el fósforo, 30 mg dm^{-3} . Para el suelo del presente estudio, con densidad aparente $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, se considera entonces que 25 mg kg^{-1} sería el valor por debajo del cual empezaría a haber problemas carenciales debidos a este elemento. Estos altos niveles se deben al elevado contenido que de este nutriente había inicialmente en el suelo (185, 177 y 245 mg kg^{-1} en los años 1998, 1999 y 2000 respectivamente), que se incrementa con la fertilización.

Tabla 5.24.- Concentraciones medias (mg kg^{-1}) de fósforo disponible (Mehlich 3) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Fósforo disponible(Mehlich 3) (mg kg^{-1})									
	1998		1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	184,7	211,1	177,1	82,0	177,1	82,0	244,8	256,7	244,8	256,7
O1M1	197,8	221,8	161,4	70,0	161,4	70,0	281,6	225,0	281,6	225,0
O1M2	217,6	220,8	204,7	125,4	204,7	125,4	278,9	223,3	278,9	223,3
O1M3	207,7	234,2	213,2	93,8	213,2	93,8	370,1	238,3	370,1	238,3
O2M1	189,1	222,0	180,5	78,3	180,5	78,3	241,8	230,0	241,8	230,0
O2M2	206,4	225,2	237,2	138,9	237,3	138,9	335,9	238,3	335,9	238,3
O2M3	223,7	234,4	196,2	106,9	196,2	106,9	262,4	258,3	262,4	258,3
O3M1	207,6	233,6	174,6	75,0	174,6	75,0	361,8	276,7	361,8	276,7
O3M2	224,8	234,1	251,6	130,1	251,6	130,1	350,1	318,3	350,1	318,3
O3M3	228,8	242,0	259,5	102,5	259,6	102,5	337,9	308,3	337,9	308,3
O	230,1	235,5	237,8	109,5	237,8	109,5	321,6	296,7	321,6	296,7
M	193,1	208,6	165,5	86,7	165,5	86,7	261,3	216,7	261,3	216,7

Las concentraciones medias de fósforo disponible (Mehlich 3) están influenciadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$), habiendo interacción año x fecha y año x tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$).

A diferencia del fósforo Olsen, la concentración de fósforo Mehlich 3 en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 2000 que en 1998 y 1999 (Figura 5.23). Estas diferencias vienen determinadas por diferencias en las concentraciones iniciales de fósforo asimilable en el suelo utilizado cada año, mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años.



Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de fósforo en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) en los años 1999 y 2000 por la fecha. En el año 1998 sólo se ha determinado el P Mehlich 3 en dos fechas de muestreo, que no son significativamente diferentes.

Figura 5.23.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg^{-1} para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

En los años 1999 y 2000 se comprueba que existen diferencias significativas entre algunas fechas, presentando su contenido mínimo en el inicio de la tuberización. A partir de esa fecha (53-55 ddp) se observa un aumento del fósforo asimilable, similar al señalado para el P Olsen; el descenso al final del ciclo vegetativo podría relacionarse con una inmovilización de P asociada a un descenso del pH.

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que las concentraciones más elevadas de fósforo disponible corresponden a la dosis más elevada de gallinaza, es decir, O3, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control (Figura 5.24a). Este resultado es el mismo que se obtenía para el fósforo Olsen.

El análisis de la influencia del tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto diferencias significativas ($p < 0,05$) en los tres años de estudio. En el año 1998 las diferencias significativas se presentan entre las dosis M3 (KPN) y M2 (KP), por una parte, y el tratamiento control, por otra. En 1999 se presentan diferencias significativas entre M2 y M3 y los tratamientos control y M1. En el año 2000 se presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) únicamente entre el tratamiento M3 y el control (Figura 5.24b).

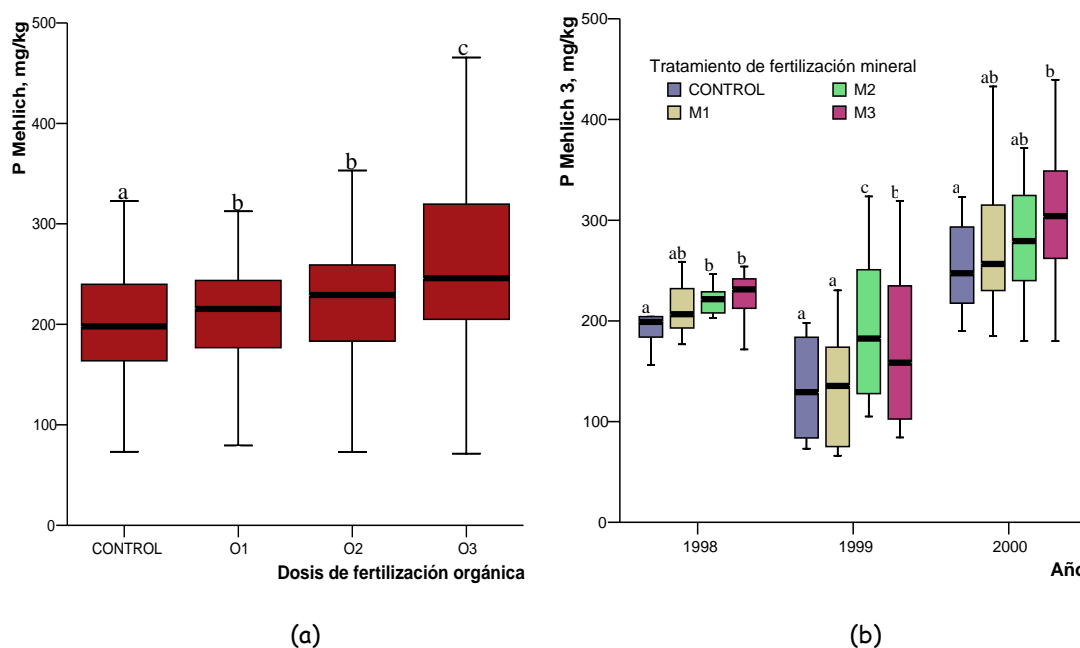
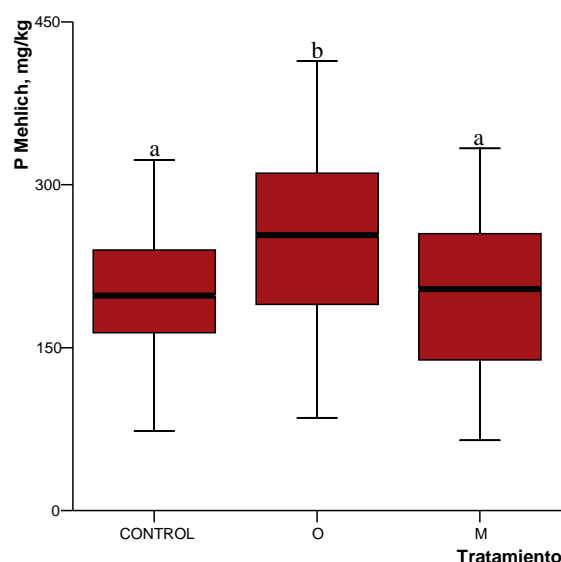


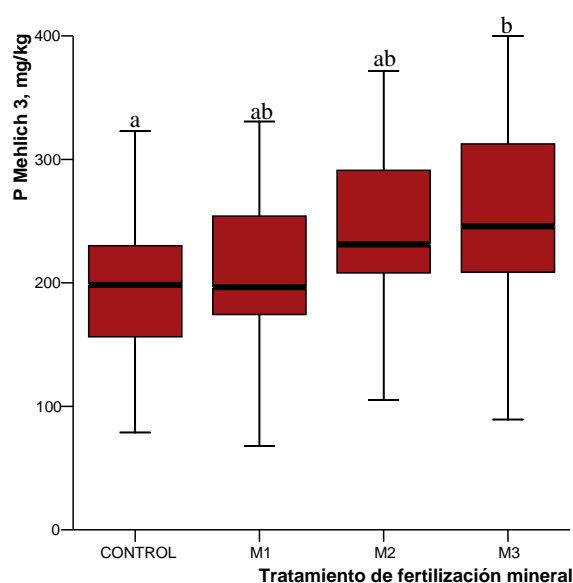
Figura 5.24.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg^{-1} en función de la dosis de fertilización orgánica en los tres años de estudio juntos (a) y en función del tratamiento de fertilización mineral para los tres años de ensayo (b)



En los tres años de estudio el tratamiento O se diferencia significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento M y del control (Figura 5.25). En este caso el diferente comportamiento de P Olsen y P Mehlich 3 podría estar relacionado con el mayor pH en las parcelas que recibieron tratamiento O.

Figura 5.25.- Comparación de la concentración de P Mehlich 3 en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control

En cuanto al análisis de la dosis de fertilización orgánica hasta el inicio de la tuberización, analizando conjuntamente los datos de los tres años de ensayo la dosis O3 se diferencia significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento control, resultado idéntico al obtenido analizando la totalidad de las fechas muestreadas.



En cuanto al análisis del tratamiento de fertilización mineral, el tratamiento M3 (que lleva N, P y K minerales) se diferencia significativamente ($p < 0,05$) del control (Figura 5.26). La presencia de N mineral parece importante en la disponibilización de P.

Figura 5.26.- Concentraciones de P Mehlich 3, mg kg^{-1} en función del tratamiento de fertilización mineral hasta el inicio de la tuberización

Se han encontrado correlaciones significativas del P Mehlich 3 con distintos parámetros del suelo y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.25. La correlación negativa (aunque débil) con el nitrógeno total parece indicar que en los suelos ricos en nitrógeno puede producirse una inmovilización de fósforo y se traduce en una correlación positiva con la relación C/N. El signo contrario de las correlaciones con N total y relación C/N de P Olsen y P Mehlich 3 indica que ambos reactivos extraen diferentes formas de P. Las fuertes correlaciones con las concentraciones de algunos micronutrientes Mehlich 3 sugieren que estos elementos y el P asimilables tienen el mismo origen, posiblemente la materia orgánica.

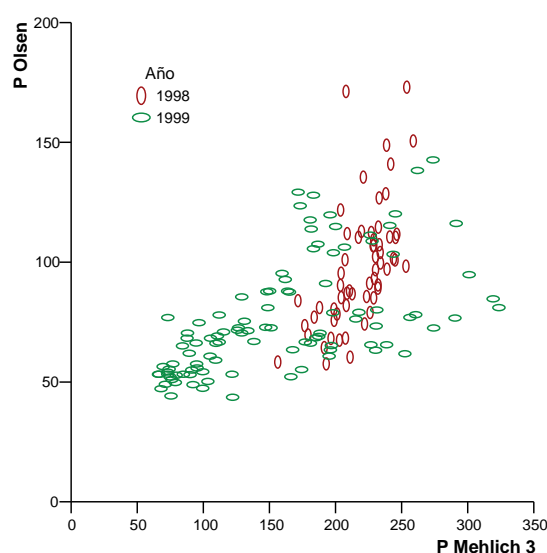
Tabla 5.25.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Mehlich-3 con distintos parámetros del suelo

	P Mehlich 3
P Olsen	0,167**
Nitrógeno total	-0,214*
% Carbono total	0,302**
Relación C/N	0,418**
Calcio de cambio	0,421**
Hierro Mehlich 3	0,175**
Manganeso Mehlich 3	0,438**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

El reactivo Mehlich 3 extrae en todos los casos más fósforo que el reactivo Olsen, coincidiendo con lo señalado por otros autores (Tran *et al.*, 1990; Buondonno *et al.*, 1992;



Fernández Marcos, 1997). La correlación entre P Olsen y P Mehlich 3 mejora sensiblemente cuando se excluyen los datos de 2000, año en que no existe correlación significativa entre el fósforo extraído por estos dos reactivos. Considerando los datos de 1998 y 1999, el coeficiente de regresión entre estos dos parámetros es de 0,626 (Figura 5.27).

Figura 5.27.- Relación entre el P Mehlich 3 y el P Olsen para los años 1998 y 1999

Complejo de cambio de cationes

En este apartado se estudian las concentraciones de los distintos cationes de cambio (K, Ca y Mg) a lo largo del ciclo. Además para algunas fechas se determina el aluminio de cambio y la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_e).

Potasio, Calcio y Magnesio

En comparación con el valor de 0,51 cmol_ckg⁻¹, citado en la bibliografía como normal para el cultivo de la patata, los niveles de potasio obtenidos en el presente estudio son bastante elevados durante todo el ciclo en los tres años de estudio (Tabla 5.26).

Las concentraciones de calcio de cambio se mantienen en valores adecuados para el cultivo de patata (0,7 cmol_ckg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de ensayo (Tabla 5.27) según la bibliografía. No deben existir problemas de sarna motivados por el calcio, pues los niveles de éste están muy distantes de 7,5 cmol_ckg⁻¹, valor a partir del cual se produce una proliferación de la misma (Lema, 1996).

A la vista de la Tabla 5.28, se puede afirmar que las concentraciones de magnesio se encuentran en 1999 y 2000 por encima del umbral de deficiencia de este elemento (0,4 cmol_ckg⁻¹) y en 1998 próximos e incluso por debajo de dicho umbral citado en la bibliografía. Lema (1996) encuentra valores de 0,2 a 2 cmol_ckg⁻¹ en suelos de la comarca de Bergantiños.

El calcio y el magnesio existentes en el suelo pueden proceder, además de los que ya había inicialmente, de la gallinaza y del superfosfato simple, que contiene un 26% de CaO y un 5% de MgO. El calcio puede proceder además del ligero encalado que se hace antes de sembrar.

Tabla 5.26.- Concentraciones medias de potasio de cambio (cmol_ckg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Potasio (cmol _c kg ⁻¹)											
	1998				1999				2000			
	25 ddp 08/06	53 ddp 06/07	81 ddp 03/08	117 ddp 08/09	37 ddp 27/05	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	149 ddp 16/09	14 ddp 30/05	35 ddp 20/06	53 ddp 07/07	120 ddp 13/09
CONTROL	1,19	1,02	0,67	1,01	0,28	0,52	0,73	0,28	0,69	0,55	0,26	0,19
O1M1	1,41	1,17	1,33	1,20	0,53	0,70	1,03	0,51	0,93	0,49	0,45	0,30
O1M2	1,39	1,05	0,82	1,10	0,51	0,78	0,48	0,50	0,83	0,67	0,42	0,37
O1M3	1,45	1,07	1,08	1,23	0,46	0,69	0,70	0,39	1,09	0,62	0,40	0,27
O2M1	1,45	1,14	1,13	1,34	0,56	0,66	0,90	0,56	0,98	0,57	0,52	0,45
O2M2	1,60	1,14	0,77	1,08	0,65	0,83	1,07	0,58	0,72	0,86	0,59	0,40
O2M3	1,63	1,25	1,39	1,25	0,77	0,70	0,94	0,32	0,93	0,97	0,46	0,27
O3M1	1,51	1,25	1,23	1,35	0,98	0,77	0,82	0,60	1,02	0,91	0,38	0,38
O3M2	1,45	1,24	0,93	1,25	0,77	1,02	0,99	0,48	1,07	0,69	0,94	0,52
O3M3	1,68	1,33	1,03	1,37	0,84	0,98	0,99	0,40	0,97	0,89	0,66	0,17
O	1,48	1,15	1,03	1,16	0,78	0,79	0,80	0,45	0,62	0,43	0,48	0,34
M	1,47	1,20	1,33	1,25	0,48	0,61	0,69	0,41	0,71	0,69	0,43	0,23

Tabla 5.27.- Concentraciones medias de calcio de cambio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Calcio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	2,7	2,8	2,3	2,9	2,6	2,6	2,7	2,1	3,2	2,7	3,7	3,2
O1M1	2,9	2,4	2,4	3,1	2,0	2,3	2,5	1,7	2,5	2,3	2,5	2,7
O1M2	2,7	2,4	2,0	2,7	2,5	3,1	2,9	2,6	3,3	2,9	2,7	2,8
O1M3	2,7	2,2	2,0	2,6	2,6	3,2	3,1	2,5	3,1	3,8	2,6	2,6
O2M1	4,0	4,0	3,1	3,9	2,0	2,4	2,4	2,3	2,6	2,5	2,5	2,5
O2M2	3,4	3,3	2,5	4,0	2,3	2,5	3,6	2,6	2,9	2,8	2,9	2,9
O2M3	3,3	3,4	3,0	3,3	2,5	2,9	2,9	2,5	2,7	2,6	2,5	2,4
O3M1	2,9	3,1	2,5	3,2	2,5	2,8	2,7	2,4	3,1	3,3	2,5	3,5
O3M2	2,9	3,3	2,8	3,2	2,2	2,9	2,8	2,3	3,7	3,6	3,8	3,8
O3M3	3,3	3,4	2,2	2,7	2,7	3,2	3,8	2,7	3,6	3,7	3,4	3,9
O	4,0	4,4	3,3	4,2	3,4	3,4	3,4	2,7	3,4	3,5	3,3	3,4
M	3,5	3,5	2,8	3,4	2,0	2,5	2,2	1,8	3,2	3,2	3,4	3,0

Tabla 5.28.- Concentraciones medias de magnesio de cambio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Magnesio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)											
	1998				1999				2000			
	25 ddp	53 ddp	81 ddp	117 ddp	37 ddp	55 ddp	70 ddp	149 ddp	14 ddp	35 ddp	53 ddp	120 ddp
	08/06	06/07	03/08	08/09	27/05	14/06	29/06	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	0,23	0,23	0,16	0,25	2,12	0,67	0,68	0,66	0,85	0,85	0,69	0,49
O1M1	0,29	0,21	0,16	0,35	2,59	0,84	1,02	0,76	0,60	0,46	0,44	0,32
O1M2	0,30	0,24	0,17	0,30	1,65	1,00	0,70	0,60	1,11	0,72	0,65	0,42
O1M3	0,27	0,20	0,16	0,31	2,43	0,98	0,97	0,80	0,74	0,69	0,47	0,27
O2M1	0,38	0,31	0,22	0,41	2,20	0,83	0,95	0,88	0,72	0,67	0,56	0,42
O2M2	0,42	0,38	0,27	0,39	1,46	0,63	0,80	0,68	0,98	1,13	0,86	0,54
O2M3	0,39	0,36	0,33	0,38	2,05	0,88	0,91	0,68	0,79	0,81	0,63	0,37
O3M1	0,42	0,39	0,27	0,51	3,91	0,94	1,03	0,97	0,80	0,93	0,56	0,53
O3M2	0,40	0,40	0,33	0,44	1,58	0,74	0,67	0,50	1,14	1,12	1,31	0,87
O3M3	0,46	0,41	0,16	0,38	2,83	1,00	1,18	0,81	0,88	1,05	0,94	0,32
O	0,50	0,45	0,33	0,45	3,04	0,87	1,15	0,86	1,19	1,15	0,99	0,66
M	0,31	0,32	0,22	0,31	1,44	0,67	0,59	0,55	0,97	0,93	0,85	0,43

Las concentraciones de potasio de cambio están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x fecha y año x fertilización mineral. El potasio de cambio en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en el año 1998 que en los años 1999 y 2000 ($p < 0,05$). Estas diferencias vienen determinadas por diferencias en las concentraciones iniciales de potasio de cambio en el suelo utilizado cada año, mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años.

Las concentraciones de calcio están afectadas significativamente por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x fecha, año x dosis de fertilización orgánica y año x tratamiento de fertilización mineral.

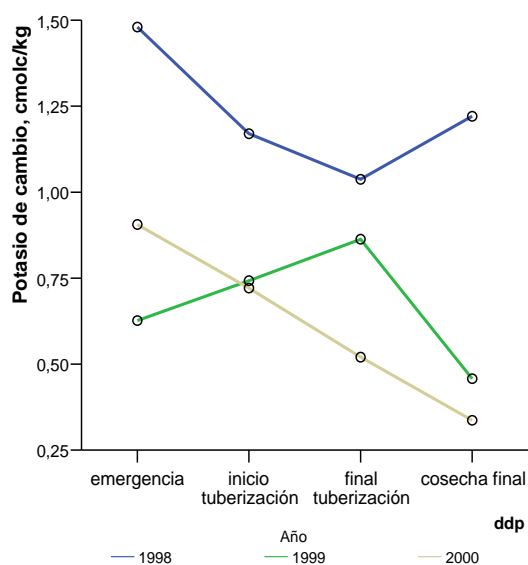
El calcio de cambio en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en los años 2000 y 1998 que en el año 1999 ($p < 0,05$). Estas diferencias vienen determinadas por diferencias en las concentraciones iniciales de calcio de cambio en el suelo utilizado cada año, mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años.

La concentración de magnesio de cambio está afectada significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x fecha, año x dosis de fertilización orgánica, año x tratamiento de fertilización mineral, fecha x tratamiento de fertilización mineral, año x fecha x dosis de fertilización orgánica y año x fecha x tratamiento de fertilización mineral. El magnesio de cambio en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en el año 1999 que en los años 2000 y 1998 ($p < 0,05$).

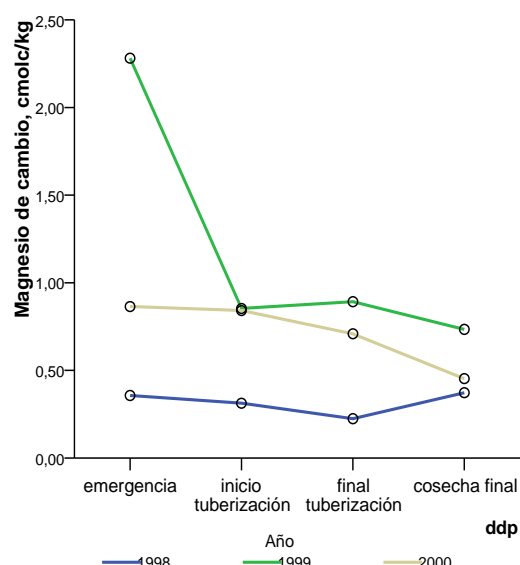
Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de **potasio** de cambio en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) en los tres años por la fecha y la dosis de fertilización orgánica y en 1998 por el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores. La concentración de **magnesio** de cambio en el suelo está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en los tres años por la fecha, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores. Las concentraciones de **calcio** de cambio en el suelo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha en los años 1998 y 1999, por la dosis de fertilización orgánica en los años 1998 y 2000 y por el tratamiento de fertilización mineral en el año 1999, no habiendo interacción entre dichos factores.

En cuanto a la fecha de muestreo (Figura 5.28a), en el año 1998, en que las concentraciones son mayores, se produce una reducción en la concentración de K desde la emergencia, debido a las extracciones de las plantas, que pueden alcanzar intensidades de absorción diarias de 10-12 kg de $K_2O \text{ ha}^{-1}$ (Domínguez Vivancos, 1997). Los niveles mínimos se alcanzan hacia el final de la tuberización. A continuación se produce un nuevo aumento, posiblemente atribuible a la liberación de potasio por mineralización de materia orgánica, favorecida por las elevadas temperaturas en este período en 1998, mientras la absorción por la planta ha cesado. En 1999, con una menor concentración inicial de potasio de cambio, ésta aumenta durante la primera mitad del ciclo, por mineralización de la materia orgánica, como consecuencia de las elevadas temperaturas y precipitaciones registradas en ese año; a continuación disminuye debido a la absorción por el cultivo. En 2000, el año de mayor

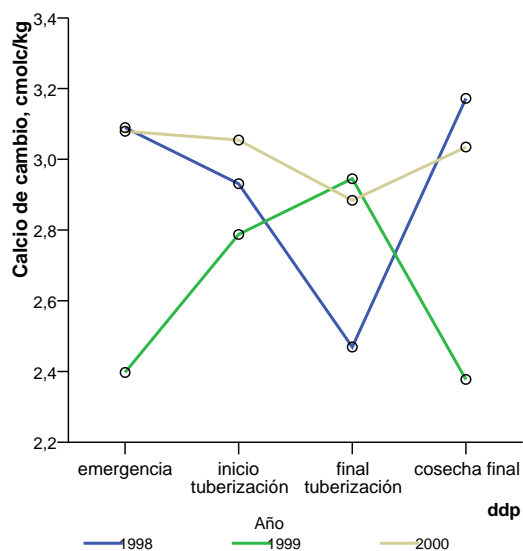
producción, la concentración de potasio de cambio disminuye continuamente a lo largo del ciclo de cultivo. No parece que los niveles de potasio puedan ser un limitante para el desarrollo del cultivo, pues, con excepción de las fechas finales de cada ciclo, cuando las plantas ya no necesitan absorberlo, en casi todos los tratamientos las concentraciones de este elemento son próximas o superiores (incluso muy superiores) al valor "normal" ($0,51 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.28.- Concentraciones de potasio de cambio, (a); magnesio de cambio (b) y calcio de cambio (c), $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

La variación a lo largo del ciclo de las concentraciones de calcio de cambio en los años 1998 y 1999 es muy similar a la del potasio de cambio. En el año 2000 no se producen variaciones significativas a lo largo del ciclo de cultivo (Figura 5.28b).

El magnesio de cambio disminuye a lo largo del ciclo de cultivo, particularmente en 1999, año en que las concentraciones de este elemento son más altas (Figura 5.28c) presentándose los mayores niveles en la fase de emergencia del cultivo.

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que las concentraciones más elevadas de potasio de cambio corresponden a la dosis más elevada de gallinaza, es decir, O3, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control (Figura 5.29a). La concentración de potasio de cambio está influida significativamente ($p < 0,05$) por el tratamiento de fertilización mineral en 1998, presentando los valores más altos en los tratamientos M1 (K) y M3 (KPN) y los más bajos en el tratamiento control (Figura 5.29b).

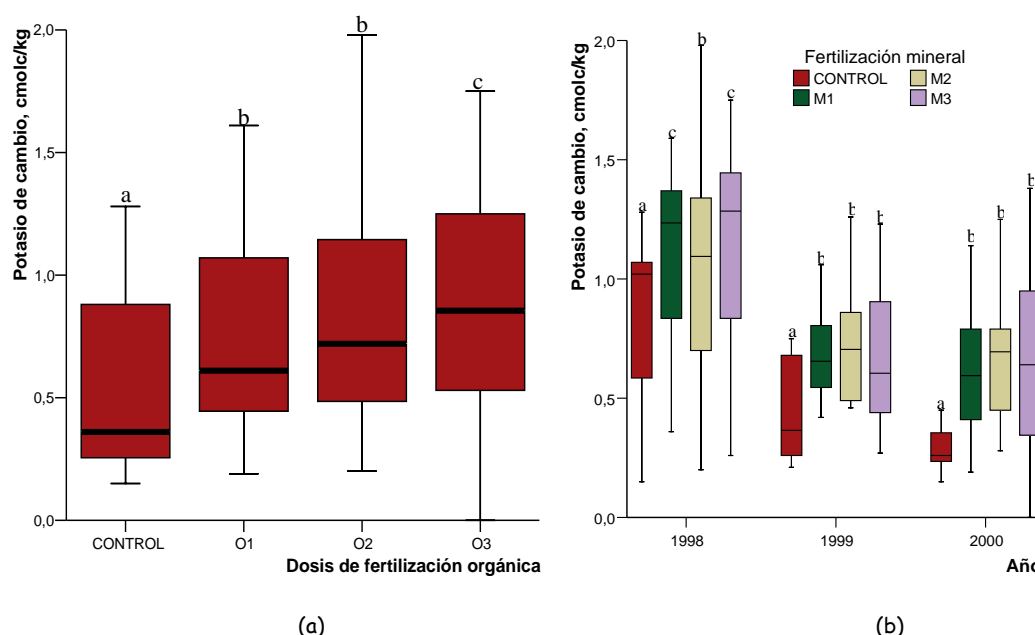


Figura 5.29.- Concentraciones de potasio de cambio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de estudio juntos (a) y concentraciones de potasio de cambio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ en función del tratamiento de fertilización mineral para los distintos años de estudio (b)

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que las concentraciones más elevadas de **calcio** de cambio corresponden a la dosis O2 en el año 1998, significativamente diferente del resto de los tratamientos, y a la dosis más elevada de gallinaza en el año 2000, es decir, O3, significativamente diferente ($p < 0,05$) de los tratamientos O2 y O1.

El tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto diferencias significativas ($p < 0,05$) en el año 1999. Estas diferencias se presentan entre la dosis M3 (KPN) y el

tratamiento M1 (K), que pueden resultar del aporte de Ca con el superfosfato o bien en la influencia del N y el P en la mineralización de la materia orgánica.

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto en los tres años de estudio que las concentraciones más elevadas de **magnesio** de cambio corresponden a la dosis O3, significativamente diferente ($p<0,05$) del tratamiento control. El tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto diferencias significativas ($p<0,05$) en los tres años de estudio, sin una tendencia consistente.

En los tres años de estudio los tratamientos O y M presentan concentraciones de **potasio** de cambio significativamente ($p<0,05$) más altas que el control (Figura 5.30a).

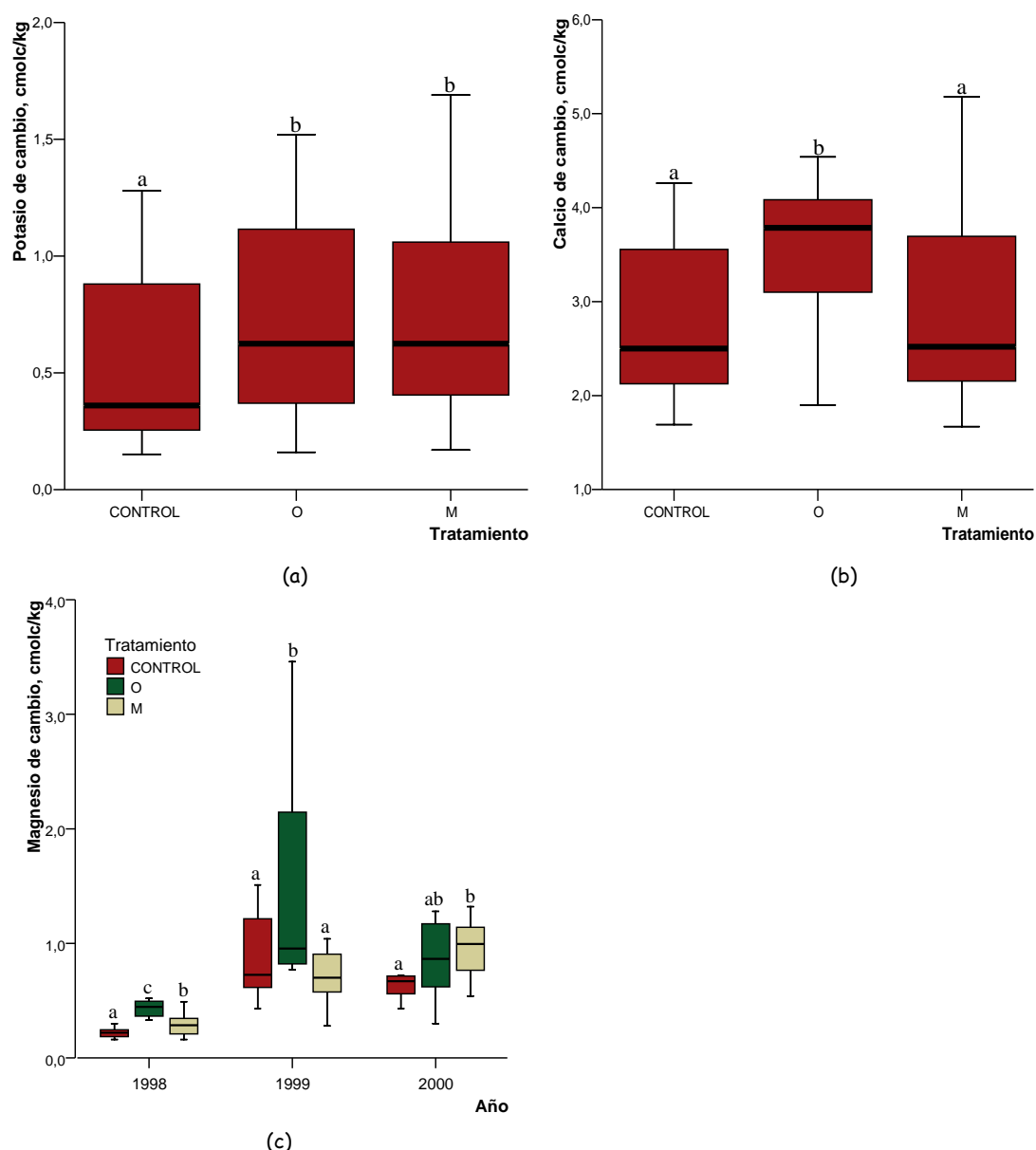


Figura 5.30.- Comparación de la concentración de potasio de cambio (a) y calcio de cambio (b) en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control y magnesio de cambio (c) en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio

El tratamiento O da lugar a concentraciones de **calcio** de cambio significativamente ($p<0,05$) más altas que el tratamiento M y el control (Figura 5.30b). En el tratamiento O las concentraciones de **magnesio** de cambio son significativamente mayores ($p<0,05$) que en el tratamiento M y el control en los años 1998 y 1999 (Figura 5.30c).

Se han encontrado correlaciones significativas del potasio, calcio y magnesio de cambio con distintos parámetros del suelo y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.29.

Tabla 5.29.- Coeficientes de regresión para las correlaciones del potasio, calcio y magnesio de cambio con distintos parámetros del suelo

	Potasio	Calcio	Magnesio
pH en agua		0,325**	
pH KCl	0,111*	0,516**	
P Olsen	0,199**		-0,161**
P Mehlich 3		0,421**	
Nitrato	0,581**	0,308**	
Amonio	0,367**		
Nitrógeno total	0,374**	0,214**	-0,622**
Carbono total			-0,175*
Relación C/N		-0,249**	0,651**
Calcio de cambio	0,296**		
Potasio de cambio		0,296**	
Magnesio de cambio			
CIC efectiva		0,410**	0,630**
Relación Ca/Mg			-0,696**
Relación K/Mg			-0,526**
Manganeso Mehlich 3	0,493**		-0,535**
Cinc Mehlich 3	0,327**		0,483**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Estas correlaciones indican que el **potasio** de cambio procede, en proporción considerable, de la fertilización orgánica, que aporta al mismo tiempo otros nutrientes. Por otra parte, la disminución de este potasio por absorción por las plantas se produce al mismo tiempo que la absorción de otros nutrientes.

Es de destacar la correlación positiva del **calcio** de cambio con el pH; esta correlación está en concordancia con el aporte de calcio con el encalado. De forma similar a lo discutido para el potasio de cambio, se observa una correlación positiva con otros nutrientes. En particular, existe una correlación muy significativa con el fósforo asimilable (Mehlich 3), en concordancia con el aporte de calcio con el superfosfato. La correlación negativa con la

relación C/N refleja la dificultad de mineralización de la materia orgánica con elevadas relaciones C/N.

Al contrario de lo discutido para potasio y calcio, el **magnesio** de cambio se correlaciona negativamente con otros nutrientes (fósforo Olsen, nitrógeno total, manganeso disponible), así como con el C total. Sorprende asimismo la correlación positiva con la relación C/N. Estos hechos podrían explicarse como resultado de que concentraciones elevadas de aquellos nutrientes dan lugar a un elevado crecimiento vegetal, con la consiguiente absorción de magnesio, relativamente deficitario, y disminución de su contenido en el suelo. Asimismo elevados porcentajes de C y bajos valores de la relación C/N están asociados con alta disponibilidad de N y P y, por tanto, mayor desarrollo vegetal.

Alternativamente, el Mg podría ser inmovilizado por la materia orgánica o los microorganismos del suelo, particularmente en presencia de abundantes nitrógeno y fósforo.

Relaciones entre los cationes del complejo de cambio

Las relaciones intercатиónicas han de presentar unos valores adecuados para que exista un buen suministro de los distintos cationes al cultivo. De acuerdo con Harrison *et al.* (1982), pueden considerarse como óptimos para el desarrollo de la patata un 5% de K y un 5% de Mg en el complejo de cambio. Lema (1996) propone un porcentaje de calcio relativo a la suma de cationes inferior al 85%.

Tabla 5.30.- Valores medios de las relaciones entre cationes de cambio para los tres años de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

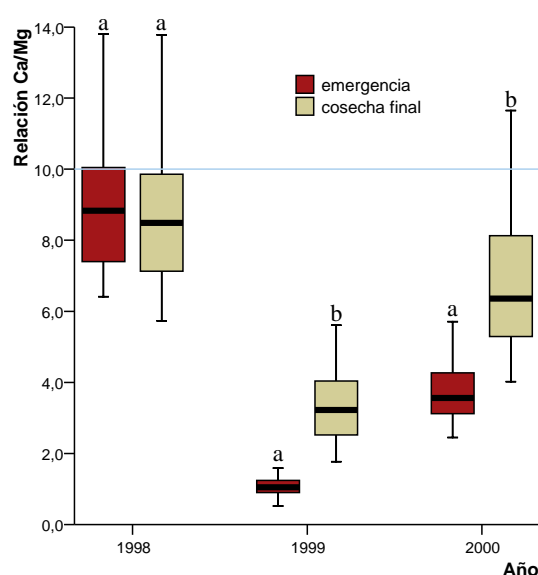
Tratamiento	1998						1999						2000					
	08/06/98			08/09/98			27/05/99			16/09/99			30/05/00			13/09/00		
	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
CONTROL	11,5	2,3	5,3	11,4	3,0	4,1	1,3	9,9	0,14	3,5	7,6	0,45	3,9	5,3	0,85	6,8	16,7	0,43
O1M1	10,1	2,1	4,9	8,7	2,5	3,4	0,8	4,0	0,22	2,3	3,4	0,67	4,2	2,7	1,62	8,5	11,3	0,97
O1M2	8,9	1,9	4,7	9,0	2,5	3,6	1,6	4,9	0,33	4,5	5,2	0,86	3,0	4,1	0,83	7,3	7,9	0,96
O1M3	10,0	1,9	5,5	8,9	2,1	4,2	1,1	5,7	0,19	3,2	6,8	0,48	4,1	2,9	1,57	9,4	10,2	0,99
O2M1	10,8	2,8	3,9	9,4	3,0	3,3	0,9	3,7	0,26	2,7	4,2	0,64	3,7	2,8	1,37	6,0	6,4	1,20
O2M2	8,1	2,2	3,8	10,2	3,7	2,9	1,6	3,6	0,47	3,9	4,6	0,85	3,0	4,1	0,78	5,6	7,4	0,74
O2M3	8,5	2,0	4,2	8,7	2,7	3,3	1,2	3,7	0,36	3,7	7,7	0,48	3,5	2,9	1,23	6,5	8,9	0,76
O3M1	7,0	2,0	3,7	6,4	2,4	2,8	0,7	2,6	0,28	2,5	4,1	0,62	4,1	3,1	1,33	6,8	9,6	0,71
O3M2	7,6	2,0	4,1	7,5	2,7	2,8	1,4	2,9	0,49	4,5	4,7	0,96	3,5	3,5	1,00	4,4	8,4	0,58
O3M3	7,1	1,9	3,7	7,2	2,0	3,7	0,9	3,6	0,28	3,3	6,6	0,50	4,3	4,0	1,12	8,3	15,6	0,53
O	8,0	2,7	3,0	9,4	3,6	2,6	1,1	4,3	0,25	3,2	6,2	0,52	2,8	8,4	0,54	5,0	10,1	0,52
M	11,1	2,4	4,8	10,9	2,7	4,2	1,4	4,3	0,33	3,8	4,5	0,82	3,3	5,5	0,69	6,8	12,8	0,53

Los valores iniciales de las relaciones entre cationes del complejo de cambio (Tabla 5.30) indican ciertos desequilibrios, como se mencionó en el capítulo correspondiente a la caracterización inicial del suelo. Una vez realizados los tratamientos, estas relaciones se modificarán, por lo cual es interesante analizar el valor de las mismas en el momento en que las plantas comienzan la absorción de nutrientes, es decir, el 8 de Junio de 1998; el 27 de Mayo de 1999 y el 30 de Mayo del 2000, fechas en las cuales ya se ha producido la emergencia y comienza la absorción.

Los datos de las relaciones intercatiónicas, de la tabla anterior, se representan en las Figuras 5.31, 5.33, y 5.34; en éstas se puede ver que los desequilibrios continúan existiendo.

La relación Ca/Mg está afectada significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x fecha, año x dosis de fertilización orgánica y año x tratamiento de fertilización mineral. La relación Ca/Mg en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor (más adecuada) en 1998 que en 2000 y 1999 (Figura 5.31).

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que la relación Ca/Mg en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo está influenciada significativamente ($p < 0,05$) por la fecha en los años 1999 y 2000, por la dosis de fertilización orgánica en el año 1998 y por el tratamiento de fertilización mineral en los años 1998 y 1999, no habiendo interacción entre dichos factores.

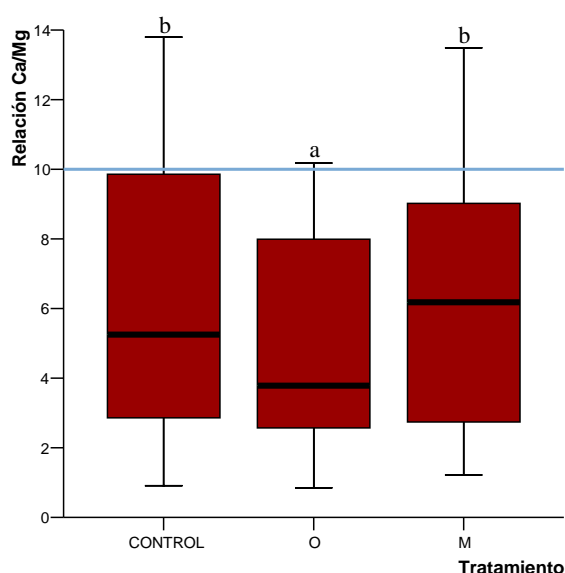


En 1999 y 2000, la relación Ca/Mg presenta valores significativamente ($p < 0,05$) más altos en la fecha de la cosecha final, coincidiendo con los valores mínimos del Mg de cambio (Figura 5.31).

Figura 5.31.- Relación Ca/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que en 1998 los valores de la relación Ca/Mg más elevados corresponden al control, significativamente diferente ($p < 0,05$) de la dosis más elevada de gallinaza (O3). Este descenso de la relación Ca/Mg para las dosis más elevadas de gallinaza resulta de la relativa pobreza en calcio de la gallinaza, que presenta una relación Ca/Mg de 1,4, inferior a los valores determinados en la mayor parte de las muestras de suelo.

El análisis de la influencia del tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto que en 1998 y 1999 los valores de la relación Ca/Mg más elevados corresponden al control, significativamente diferente ($p < 0,05$) del resto de los tratamientos en el año 1998; y diferencias significativas ($p < 0,05$) de la fertilización M2 (KP) y el control con el tratamiento M1 (K) en el año 1999.



En los tres años de estudio los tratamientos control y M se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento O, presentando el tratamiento O las relaciones más bajas. Se muestra como ejemplo la fecha de la emergencia del año 1998 (Figura 5.32).

Figura 5.32.- Comparación de la relación Ca/Mg en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio juntos (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

La relación Ca/K está afectada significativamente por el año, la fecha de muestreo y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x fecha y año x dosis de fertilización orgánica. La relación Ca/K en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en los años 1999 y 2000 que en el año 1998 ($p < 0,05$). Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que los valores de la relación Ca/K en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciados significativamente ($p < 0,05$) por la fecha en el año 2000 y por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral en los años 1999 y 2000, no habiendo interacción entre dichos factores.

En 2000 la relación Ca/K presenta valores significativamente ($p<0,05$) más altos de ésta relación en la fecha de la cosecha final, coincidiendo con concentraciones mínimas de potasio.

El análisis de la influencia de la fertilización orgánica y mineral pone de manifiesto que en 1999 y 2000 los valores de la relación Ca/K más elevados corresponden al control, significativamente diferente ($p<0,05$) del resto de los tratamientos (Figura 5.33a). Esta situación resulta tanto de una baja relación Ca/K en la gallinaza, que presenta un valor de 1,3, como del aporte considerable de K con la fertilización mineral, mientras el aporte de Ca es bajo.

En el año 1999 el control presenta valores de la relación Ca/K significativamente ($p<0,05$) mayores que los tratamientos O y M (Figura 5.33b).

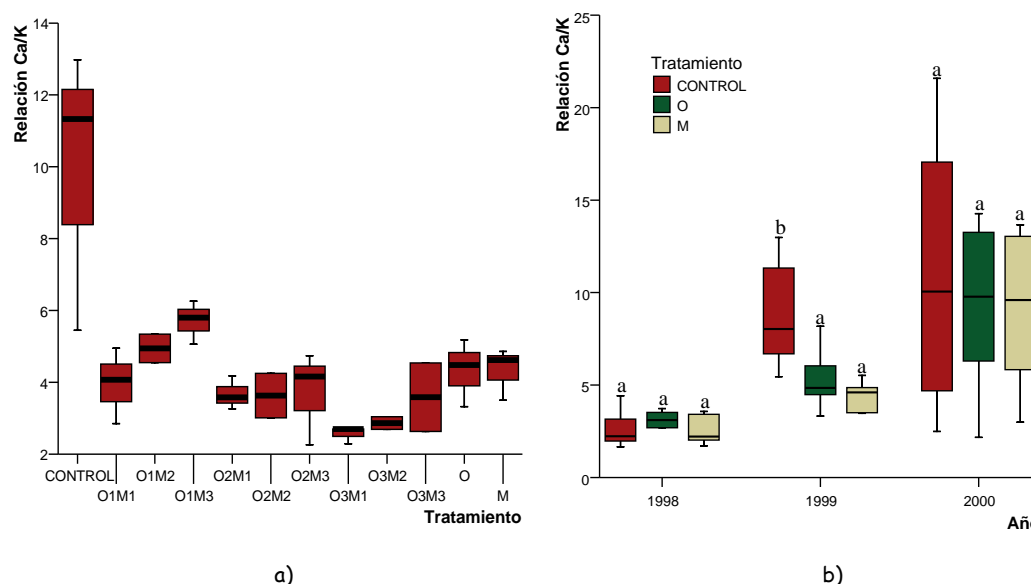


Figura 5.33.- Relación Ca/K según los distintos tratamientos para la emergencia en el año 1999 (a) y Comparación de la relación Ca/K en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio (b)

La relación K/Mg está afectada significativamente por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año \times fecha, año \times dosis de fertilización orgánica y año \times tratamiento de fertilización mineral. La relación K/Mg en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor (más desequilibrada) en el año 1998 que en los años 1999 y 2000 ($p<0,05$).

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que los valores de la relación K/Mg en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciados ($p<0,05$)

significativamente en los tres años de estudio por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto que en 1998 los valores de la relación K/Mg más elevados corresponden al control, significativamente diferente ($p < 0,05$) de las dosis más elevadas de gallinaza, manteniéndose en todo caso muy por encima del valor óptimo ($< 0,8$); la gallinaza presenta un valor de la relación K/Mg de 1,06, más próximo al valor óptimo, por lo que su adición al suelo mejora el valor de dicha relación. Aunque la participación del magnesio en el complejo de cambio ($> 5\%$) sería favorable para un buen suministro, la absorción por el cultivo va a estar limitada por el desequilibrio K/Mg y por los bajos valores absolutos de magnesio de cambio, próximos al umbral de suficiencia ($0,4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$). Por el contrario, en los años 1999 y 2000, las concentraciones de Mg de cambio son más elevadas y las relaciones K/Mg son adecuadas; en estos dos últimos años la adición de gallinaza da lugar a un aumento significativo de la relación K/Mg (Figura 5,34a).

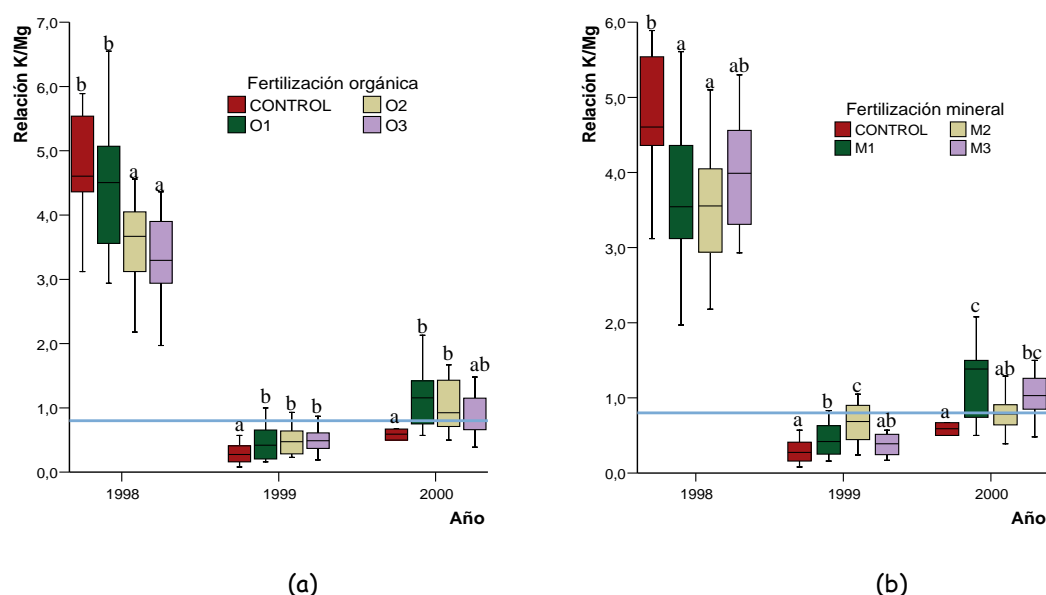
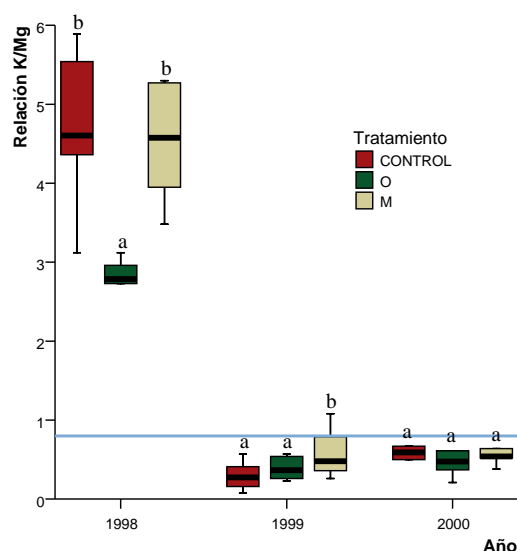


Figura 5.34.- Relación K/Mg en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b) para los distintos años de estudio (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

El análisis de la influencia del tratamiento de fertilización mineral pone de manifiesto que los valores de la relación K/Mg más elevados corresponden al control, significativamente diferente ($p < 0,05$) de los tratamientos M2 y M1 en el año 1998, mientras que para el año 1999 los valores más elevados de esta relación se presentan para los tratamientos M2 y M1, significativamente diferentes del control, y en 2000 los tratamientos M1 y M3 dan lugar a relaciones significativamente mayores que el control

(Figura 5.34b). En 1998, en que existe un fuerte desequilibrio inicial, la fertilización conduce a una moderada mejora de la relación K/Mg (excepto en el tratamiento exclusivamente mineral, Figura), a pesar del aporte de K. En 1999 y 2000, donde la relación inicial es equilibrada, la fertilización conduce en general a un aumento de dicha relación.



En el año 1998 el control y el tratamiento M se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del tratamiento O y en el año 1999 el tratamiento M se diferencia significativamente ($p < 0,05$) de los tratamientos control y O; en 2000 no hay diferencias significativas entre el control y los tratamientos O y M (Figura 5.35).

Figura 5.35.- Comparación de la relación K/Mg en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

Para finalizar, el suministro de potasio estará enormemente favorecido en todos los tratamientos, pues a los desequilibrios anteriores hay que añadir las altas concentraciones de potasio de cambio ($>0,51 \text{ cmol}_e\text{kg}^{-1}$) y la elevada participación de este nutriente en la suma de bases (muy superior al valor umbral del 3%).

Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_e)

La CIC_e, es decir, la suma de K, Ca, Mg, Na y Al de cambio extraídos al pH del suelo, se ha determinado para dos muestreos en cada año (en el momento de la emergencia y en el momento de la cosecha). Los valores de este parámetro, la suma de cationes alcalinos y alcalinotérreos y los porcentajes de aluminio en la CIC_e para dichas fechas se presentan en la Tabla 5.31 para los tres años. En la Tabla 5.31 puede verse que el suelo tiene una baja capacidad de intercambio catiónico efectiva. Como ya se indicó en la caracterización inicial del suelo, la CIC_e presenta valores próximos o incluso inferiores a $4 \text{ cmol}_e\text{kg}^{-1}$, valor considerado limitante para la fertilidad del suelo (Sánchez *et al*, 1982; Jiménez, 1994).

Tabla 5.31.- Valores medios de la capacidad de intercambio y la suma de bases para los tres años de cultivo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	1998						1999						2000					
	08/06/98			08/09/98			27/05/99			16/09/99			30/05/00			13/09/00		
	S(1)	CIC _e (1)	%Al	S(1)	CIC _e (1)	%Al	S(1)	CIC _e (1)	%Al	S(1)	CIC _e (1)	%Al	S(1)	CIC _e (1)	%Al	S(1)	CIC _e (1)	%Al
CONTROL	3,9	4,0	4,7	2,9	3,1	6,0	5,4	5,7	6,5	4,3	4,7	7,5	5,0	5,0	0,4	4,1	4,5	9,0
O1M1	4,4	4,7	7,0	3,2	3,5	11,1	5,6	6,0	6,6	4,6	5,0	7,8	4,4	4,4	1,1	3,8	4,2	10,7
O1M2	4,0	4,4	8,1	3,4	3,8	10,9	5,0	5,3	4,7	5,4	5,6	4,1	5,7	5,7	0,5	4,0	4,4	9,4
O1M3	4,4	4,7	7,1	3,2	3,6	9,1	6,0	6,3	5,1	5,2	5,5	5,5	5,3	5,3	0,6	3,4	4,0	13,2
O2M1	5,7	6,9	15,6	4,7	4,8	2,2	5,3	5,6	5,6	5,9	6,1	4,7	4,7	4,7	0,8	3,7	4,3	12,0
O2M2	4,7	5,2	9,7	4,0	4,2	4,8	4,8	5,0	4,6	6,1	6,3	3,3	5,0	5,0	0,6	4,2	4,6	8,6
O2M3	5,4	5,6	2,7	4,3	4,5	3,4	5,8	6,1	4,9	5,1	5,4	5,2	4,7	4,8	0,6	3,4	3,8	12,5
O3M1	4,9	5,3	6,3	3,8	4,1	7,4	7,9	8,2	3,5	6,1	6,4	4,1	5,2	5,3	0,4	4,7	5,0	5,8
O3M2	5,5	5,6	2,9	3,6	3,8	7,3	5,1	5,4	4,6	5,1	5,3	4,3	6,3	6,3	0,3	5,6	5,8	4,0
O3M3	5,3	5,7	6,5	4,0	4,2	4,4	6,8	7,1	4,1	5,8	6,0	4,5	5,8	5,8	0,3	4,6	4,8	4,1
O	6,1	6,2	1,2	5,1	5,1	1,1	7,6	7,9	3,7	6,0	6,2	4,0	5,7	5,7	0,2	4,8	5,0	4,4
M	6,8	7,0	2,9	4,9	5,1	4,7	4,3	4,8	10,8	4,2	4,7	10,7	5,4	5,4	0,6	3,9	4,4	10,1

(1) CIC_e y suma de cationes alcalinos y alcalinotérreos (S) expresadas en cmol_ckg⁻¹

La CIC_e está afectada significativamente por el año y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica. La CIC_e en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en el año 1999 que en los años 2000 y 1998 (p<0,05).

La disminución de la capacidad de cambio catiónico efectiva entre las dos fechas de cada año, si bien no es significativa (p<0,05), podría relacionarse con la disminución del contenido de materia orgánica.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que los valores de CIC_e del suelo a lo largo del ciclo del cultivo están influenciados (p<0,05) significativamente en los años 1998 y 1999 por la dosis de fertilización orgánica. La CIC_e más elevada corresponde a la dosis O3, significativamente diferente (p<0,05) del control.

El tratamiento O da lugar a valores de CIC_e significativamente (p<0,05) mayores que el control.

Tabla 5.32.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la CIC_e con distintos parámetros del suelo

	CIC _e
pH agua	0,320**
pH en KCl	0,350**
Calcio de cambio	0,410**
Magnesio de cambio	0,630**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

Se han encontrado correlaciones significativas (p<0,01) de la CIC_e con el pH del suelo y con las concentraciones de calcio y magnesio de cambio (Tabla 5.32). La correlación con el

pH indica el carácter de carga variable del suelo utilizado en el ensayo, característica común en los suelos gallegos.

Micronutrientes asimilables (Mehlich 3)

Los micronutrientes extraíbles con el reactivo Mehlich 3 se determinaron en los muestreos del 8 de Junio y del 8 de Septiembre del año 1998; en los muestreos del 27 de Mayo y del 16 de Septiembre del año 1999 y en los muestreos del 30 de Mayo y del 13 de Septiembre del año 2000. En las Tablas 5.33 siguientes se muestran las concentraciones medias de hierro, manganeso, cobre y cinc para cada tratamiento en cada una de las dos fechas de cada año.

Tabla 5.33.- Concentraciones medias de micronutrientes asimilables (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

1998

Tratamiento	Hierro (mg kg^{-1})		Manganeso (mg kg^{-1})		Cobre (mg kg^{-1})		Cinc (mg kg^{-1})	
	25 ddp	117 ddp	25 ddp	117 ddp	25 ddp	117 ddp	25 ddp	117 ddp
	08/06/98	08/09/98	08/06/98	08/09/98	08/06/98	08/09/98	08/06/98	08/09/98
CONTROL	485	516	11,5	10,6	0,20	1,04	2,05	1,43
O1M1	474	434	8,2	7,5	0,23	0,73	2,13	1,43
O1M2	494	455	8,8	9,1	0,20	0,50	1,94	1,34
O1M3	473	494	7,2	7,6	0,23	0,86	1,73	1,66
O2M1	473	418	8,4	8,6	0,13	0,73	2,15	1,73
O2M2	493	401	9,0	8,8	0,13	0,67	2,26	1,90
O2M3	488	402	8,8	8,7	0,23	0,93	2,26	2,52
O3M1	481	464	8,0	8,1	0,27	0,80	2,56	1,96
O3M2	491	436	8,7	8,5	0,27	1,10	2,89	1,94
O3M3	479	498	8,7	8,6	0,17	0,60	2,51	2,21
O	477	437	13,7	11,3	0,33	0,73	2,40	2,36
M	484	509	10,3	9,7	0,27	1,03	1,84	1,40

1999

Tratamiento	Hierro (mg kg^{-1})		Manganeso (mg kg^{-1})		Cobre (mg kg^{-1})		Cinc (mg kg^{-1})	
	37 ddp	149 ddp	37 ddp	149 ddp	37 ddp	149 ddp	37 ddp	149 ddp
	27/05/99	16/09/99	30/05/99	13/09/99	30/05/99	13/09/99	30/05/99	13/09/99
CONTROL	779	598	24,8	16,8	0,70	0,47	5,90	3,00
O1M1	696	545	20,7	12,2	0,80	0,30	3,30	2,70
O1M2	731	578	29,3	21,1	0,80	0,55	1,60	3,45
O1M3	579	576	19,5	19,9	0,50	0,55	3,40	2,10
O2M1	516	516	15,4	12,8	1,10	0,50	4,20	4,27
O2M2	223	511	35,0	22,2	1,40	0,85	0,00	3,95
O2M3	537	501	22,8	17,3	0,70	0,60	4,60	2,93
O3M1	707	563	23,6	15,3	0,80	0,40	2,90	3,57
O3M2	543	428	26,1	18,4	1,00	0,45	8,00	4,10
O3M3	430	432	19,6	15,4	0,50	0,55	5,40	2,10
O	829	536	9,6	19,2	1,20	0,30	2,80	2,97
M	745	581	20,2	17,1	0,40	0,27	1,90	2,53

Tratamiento	Hierro (mg kg ⁻¹)		Manganeso (mg kg ⁻¹)		Cobre (mg kg ⁻¹)		Cinc (mg kg ⁻¹)	
	14 ddp	120 ddp	14 ddp	120 ddp	14 ddp	120 ddp	14 ddp	120 ddp
	30/05/00	13/09/00	30/05/00	13/09/00	30/05/00	13/09/00	30/05/00	13/09/00
CONTROL	670	520	11,2	18,2	0,20	0,67	3,25	5,67
O1M1	453	494	15,6	18,0	0,27	0,73	4,53	6,77
O1M2	563	448	12,9	15,2	0,33	1,70	4,13	5,53
O1M3	514	473	21,9	18,1	0,30	0,60	5,15	5,83
O2M1	574	505	10,1	15,1	0,57	0,87	7,00	6,33
O2M2	611	516	17,9	14,7	0,75	0,70	5,30	5,80
O2M3	582	496	20,6	15,5	0,63	0,70	5,80	5,43
O3M1	619	523	22,8	17,9	0,53	0,67	7,57	6,50
O3M2	587	348	19,8	12,4	0,25	0,43	6,10	4,30
O3M3	674	538	21,5	19,0	0,43	0,67	6,53	6,30
O	548	536	22,4	20,7	0,60	0,80	6,77	8,37
M	585	471	20,2	15,1	0,50	0,83	4,77	4,80

En cuanto a los niveles críticos de micronutrientes asimilables, Sims (1989), para cultivos en general y suelos con pH similar a éste, propone para el manganeso y el cinc niveles de 7,7 y 0,3 mg dm⁻³ respectivamente. Teniendo en cuenta la densidad aparente del suelo (1,2 kg dm⁻³) se pasan los niveles críticos de mg dm⁻³ a mg kg⁻¹, obteniéndose los valores de 6,4 y 0,25 mg kg⁻¹ para el manganeso y el cinc respectivamente. A la vista de estos valores y de los datos de las Tablas 5.33, se comprueba que tanto las concentraciones de manganeso como las de cinc son siempre superiores a los niveles críticos, por lo que no se esperan deficiencias. Con estos valores de manganeso y cinc tampoco se esperan toxicidades (Monterroso *et al.*, 1999).

El mismo autor indica que para suelos con un contenido de materia orgánica del 4%, el nivel crítico de cobre es de 0,7 mg dm⁻³, que con una densidad aparente de 1,2 kg dm⁻³ equivale a 0,6 mg kg⁻¹. Por lo tanto, podrían presentarse deficiencias de este micronutriente, ya que al inicio del ciclo del cultivo (Tabla 5.33) casi todos los tratamientos presentan concentraciones claramente inferiores al nivel crítico, en los tres años de estudio. El incremento de la concentración en la segunda fecha de muestreo resulta de la aplicación en julio y agosto de fungicidas que contienen cobre, hecho que supliría la deficiencia inicial de este elemento.

Por último, Tisdale *et al.* (1993) establecen el nivel de suficiencia para el hierro en 4,5 mg kg⁻¹ cuando se realiza la extracción con DTPA. Teniendo en cuenta este valor y la correlación que Wendt (1995) propone entre la extracción con DTPA y Mehlich 3, se determina que el nivel de suficiencia de hierro cuando se usa el segundo método es de 28 mg kg⁻¹. Por lo tanto, a la vista de los datos de la Tabla 5.33 no son previsibles deficiencias

de hierro, pero sí posibles problemas de toxicidad porque estos valores son muy elevados (Monterroso *et al.*, 1999).

Las concentraciones de hierro Mehlich 3 están afectadas significativamente ($p<0,05$) por el año, la fecha de muestreo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año \times dosis de fertilización orgánica. Se encuentran concentraciones significativamente ($p<0,05$) mayores en los años 1999 y 2000. La fecha de muestreo influye significativamente en los años 1998 y 1999, en los que el hierro Mehlich 3 es más alto en la fecha de emergencia (Figura 5.36a). La dosis de fertilización orgánica influye significativamente ($p<0,05$) sólo en el año 1998, en el que la concentración de hierro Mehlich 3 en las parcelas control es más elevada que la del tratamiento O2. No se encuentran diferencias significativas entre el control y los tratamientos O y M.

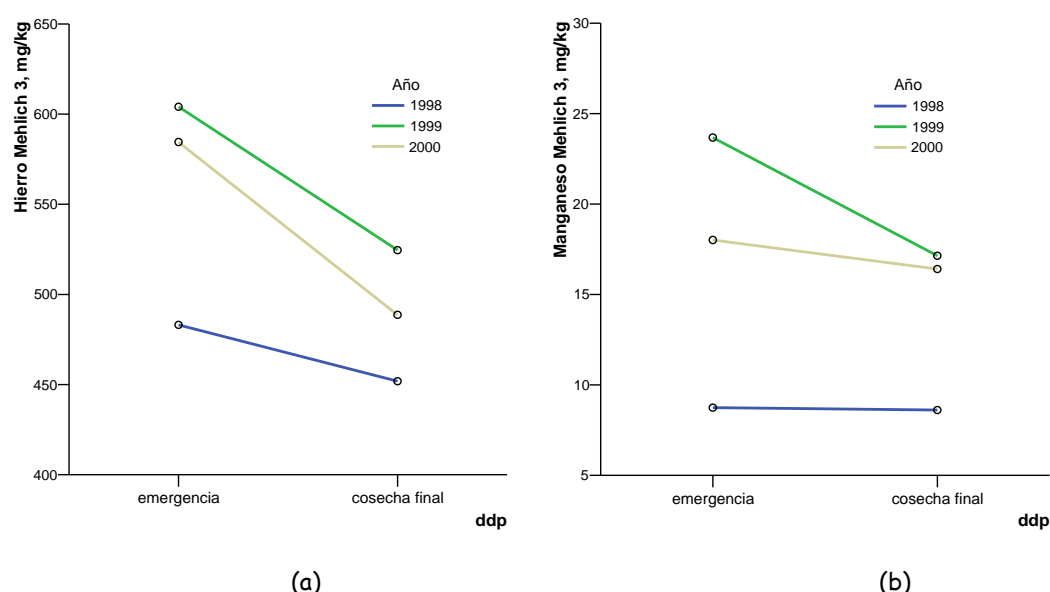


Figura 5.36.- Concentraciones de hierro Mehlich 3 (a) y manganeso Mehlich 3 (b), mg kg⁻¹ para los tres años en las dos fechas de muestreo

Las concentraciones de manganeso Mehlich 3 están afectadas significativamente ($p<0,05$) por el año y la fecha de muestreo, habiendo interacción año \times fecha y año \times tratamiento de fertilización mineral. Se encuentran concentraciones significativamente ($p<0,05$) mayores en los años 1999 y 2000. Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que la fecha influye significativamente ($p<0,05$) en el año 1999, siendo más altas las concentraciones en la fecha de la emergencia (Figura 5.36b). El tratamiento de fertilización mineral influye significativamente ($p<0,05$) en el año 1999, siendo la concentración de manganeso Mehlich 3 significativamente ($p<0,05$) más elevada en el tratamiento M2 que en el tratamiento M1. Al igual que en el hierro no se encuentran diferencias significativas entre el control y los tratamientos O y M.

Las concentraciones de cobre Mehlich 3 están afectadas significativamente ($p<0,05$) solamente por la fecha. Se encuentran concentraciones mayores en el año 1999, aunque las diferencias no son significativas. Las concentraciones son significativamente ($p<0,05$) más altas en la fecha de la cosecha final en los años 1998 y 1999 (Figura 5.37a). El aumento de la concentración resulta, como se ha señalado, de la aplicación de fungicidas.

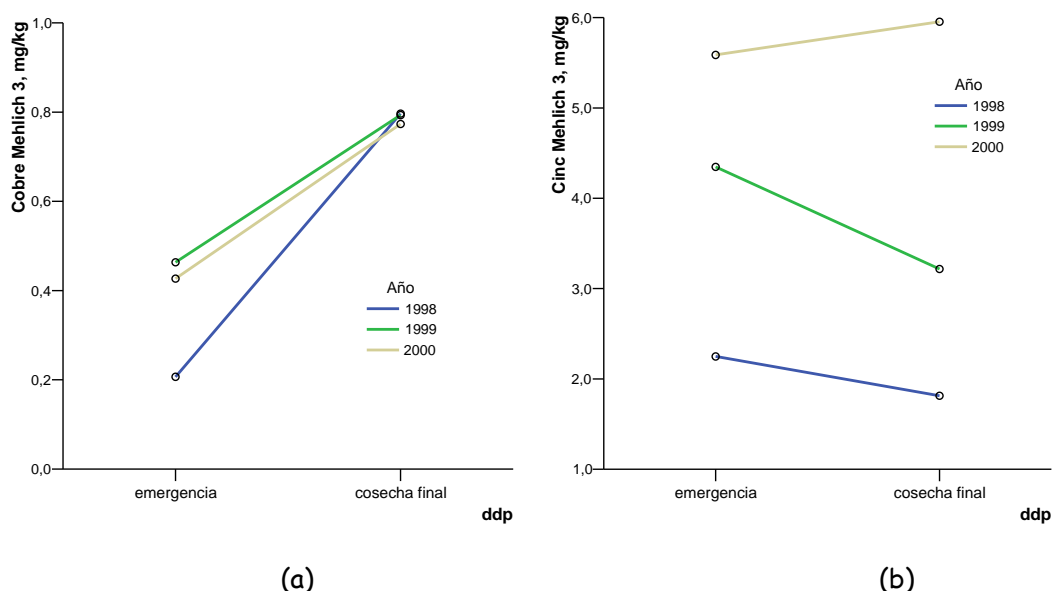


Figura 5.37.- Concentraciones de cobre Mehlich 3 (a) y cinc Mehlich 3 (b), mg kg^{-1} para los tres años en las dos fechas de muestreo

Las concentraciones de cinc Mehlich 3 están afectadas significativamente ($p<0,05$) por el año y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción fecha x año y fecha x dosis de fertilización orgánica. Las concentraciones son significativamente mayores ($p<0,05$) en el año 2000. En 1998 y 1999, la concentración disminuye entre la emergencia y la cosecha final, aunque las diferencias no son significativas ($p<0,05$, Figura 5.37b). El análisis de la influencia de la dosis de fertilización orgánica pone de manifiesto en la fecha de emergencia que la concentración más elevada de cinc Mehlich 3 corresponde a la dosis O3, significativamente diferente ($p<0,05$) de la dosis O1. En la cosecha final no hay diferencias significativas. Al igual que en el resto de los micronutrientes no se encuentran diferencias significativas entre el control y los tratamientos O y M.

Las escasas diferencias significativas observadas parecen indicar que el cinc es aportado por la fertilización orgánica, mientras que el manganeso procede de la fertilización fosfatada. De acuerdo con Alloway (2004), la deficiencia de cinc es común en suelos arenosos y pobres en materia orgánica.

La disminución de concentraciones entre la emergencia y la cosecha final apunta a una absorción por el cultivo.

Las concentraciones de micronutrientes disponibles (Mehlich 3) están correlacionadas significativamente con los siguientes parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.34.

Tabla 5.34.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de las concentraciones de micronutrientes asimilables (Mehlich 3) con distintos parámetros del suelo

	Hierro (Mehlich 3)	Manganeso (Mehlich 3)	Cobre (Mehlich 3)	Cinc (Mehlich 3)
P Olsen		0,407**	-0,466**	-0,320**
P Mehlich 3	0,175*	0,438**	-0,379**	-0,380**
Nitrato			-0,251**	-0,209**
Amonio	-0,215**	-0,164*		
Nitrógeno total	-0,252**	0,435**	-0,762**	-0,489**
Carbono total	-0,233**		-0,333**	-0,199*
Relación C/N		-0,618**	0,865**	0,577**
Potasio de cambio	-0,358**		-0,370**	-0,472**
Calcio de cambio	-0,189**		-0,233**	-0,199**
Magnesio de cambio		-0,535**	0,721**	0,483**
Sodio de cambio	-0,242**		-0,259**	-0,332**
Manganeso Mehlich 3	0,253**		-0,674**	-0,384**
Cobre Mehlich 3		-0,674**		0,760**
Cinc Mehlich 3		-0,384**	0,760**	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Estas correlaciones parecen poner de manifiesto dos tipos de comportamiento: por una parte, el cobre y el cinc y, por otra, el manganeso. Los dos primeros parecen presentar tendencia a ser inmovilizados por la materia orgánica, particularmente en presencia de abundante N y P (presentando correlaciones negativas con C orgánico, N y P asimilable). Diversos autores indican que un exceso de fósforo puede inducir deficiencia de micronutrientes catiónicos, en particular cinc (Safaya, 1976; Christensen y Jackson, 1981; Loneragan *et al.*, 1979 y 1982; Moraghan, 1984; Moraghan y Mascagni, 1991; Loneragan y Webb, 1993; Alloway, 2004). El Mn, con menor afinidad por la materia orgánica que Cu y Zn, se correlaciona negativamente con las concentraciones de éstos, que compiten favorablemente con el Mn por posiciones de complejación en la materia orgánica. El comportamiento del Zn y el Cu es similar al observado para el Mg, con el cual se correlacionan positivamente. El Fe presenta un comportamiento intermedio entre los dos señalados.

5.2.2. Hoja y peciolo

Se estudian a continuación los efectos producidos por los diferentes tratamientos de fertilización orgánica y mineral, en las concentraciones de carbono, macro y micronutrientes en hojas y peciolo de patata.

Carbono en hoja y peciolo

Los análisis de C y N se llevaron a cabo en hojas y peciolo muestreados a media o final de estación. Las concentraciones de carbono en hojas (Tabla 5.35) oscilaron entre 32% y 45% en los tres años.

Tabla 5.35.- Porcentajes medios de carbono en hojas y peciolo para las tres fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Carbono en hojas y peciolo de patata (% referido a materia seca)						
Tratamiento	67 ddp		98 ddp		87 ddp	
	20/07/98		26/07/99		10/08/00	
	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo
Control	43,3	37,7	43,2	37,4	41,5	37,9
O1M1	42,0	38,8	44,4	34,2	32,0	34,6
O1M2	43,7	39,1	42,0	32,5	39,5	31,2
O1M3	42,5	38,8	43,1	33,2	42,0	34,0
O2M1	42,1	38,6	43,4	33,1	38,8	30,7
O2M2	43,6	38,2	44,0	32,7	41,1	35,8
O2M3	42,7	38,3	43,7	33,5	41,9	32,9
O3M1	42,4	37,8	42,9	33,1	39,8	33,4
O3M2	43,1	40,5	43,8	33,6	40,7	34,1
O3M3	41,9	39,0	43,2	33,6	42,2	33,6
O	42,5	34,9	43,8	35,6	42,3	36,3
M	43,0	35,6	45,0	33,4	41,1	35,8

Para los peciolo, las concentraciones en carbono son inferiores a aquellas obtenidas para las hojas, presentando un rango de concentraciones que varía del 31% al 41% en los tres años (Tabla 5.35).

El porcentaje de carbono en hoja es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 y 1999 que en 2000, mientras el porcentaje de carbono en peciolo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000. La diferencia podría atribuirse al hecho de que en 1998 las muestras fueron recolectadas en una fecha más temprana que en 1999 y 2000.

La fertilización orgánica y mineral no produce efectos consistentes sobre la concentración de carbono en hoja, mientras que los porcentajes de carbono en peciolo son significativamente ($p < 0,05$) más elevados en el tratamiento control que en el tratamiento M y en aquellos que combinan fertilización orgánica y mineral.

Se han encontrado correlaciones significativas de los porcentajes de carbono en hoja y peciolo con las concentraciones de N y P (Tabla 5.36). Sin embargo, las concentraciones de C en hoja y en peciolo no presentan correlación significativa entre sí.

Tabla 5.36.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de carbono en hoja y peciolo con otros parámetros

	% Carbono en hoja	% Carbono en peciolo
% Nitrógeno en hoja	0,376**	0,597**
% Nitrógeno en peciolo	0,324**	0,387**
Fósforo en hoja		0,759**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

Nitrógeno en hoja y peciolo

Las concentraciones de nitrógeno en hoja de patata en los tres años de ensayo se muestran en la Tabla 5.37. Los datos de 1998, correspondientes a media estación, se encuentran dentro o por encima del intervalo (3-5%) considerado normal por Westermann (1990) para este período, para la variedad Russet Burbank. Los datos de 1999 y 2000, correspondientes a final de estación, son inferiores al 4% citado como normal para la fase final por Walworth y Muniz (1993) para las variedades Russet Burbank y Kufri en casi todos los tratamientos.

Al inicio del ciclo el nitrógeno se acumula en la parte aérea, mientras que después de finalizada la tuberización la vegetación deja de absorber nitrógeno, traslocándose éste hacia el tubérculo. Así, según Lema (1996), concentraciones del 4% en hoja se corresponden con el inicio de la maduración. Rodrigues (2004) obtuvo para la variedad Desiree concentraciones medias de nitrógeno en hoja de 4,05% a los 48 días después de la emergencia. Estos valores concuerdan con lo obtenido en nuestro ensayo, en el cual hacia finales de la tuberización (20/07/98) la concentración media de nitrógeno en hoja es del 5,34% en el año 1998; el 26/07/99 es del 3,28% y el 10/08/00 es del 3,10%, correspondiendo estas dos últimas fechas a la fase final del desarrollo de los tubérculos.

Tabla 5.37.- Porcentajes medios de nitrógeno en hojas y peciolo para las tres fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Nitrógeno en hojas y peciolo de patata (% referido a materia seca)					
	67 ddp		98 ddp		87 ddp	
	20/07/98		26/07/99		10/08/00	
	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo
Control	4,12	1,68	2,71	0,88	2,45	0,70
O1M1	4,21	1,59	2,82	0,95	2,02	1,08
O1M2	5,55	2,47	3,11	1,18	2,20	0,73
O1M3	4,47	1,70	3,47	1,94	3,28	1,06
O2M1	5,15	2,13	2,92	0,89	2,65	0,99
O2M2	5,93	2,73	3,44	1,27	2,92	0,74
O2M3	5,10	2,13	3,43	1,36	4,03	1,22
O3M1	5,92	2,69	3,46	1,65	3,04	0,93
O3M2	6,29	2,70	3,92	1,63	3,23	1,02
O3M3	6,04	2,58	3,55	2,79	4,48	1,40
O	5,56	2,44	3,38	1,54	3,04	1,04
M	5,68	2,62	3,14	1,95	3,89	1,63

Se acepta generalmente (Chapman y Pratt, 1981; Davidescu y Davidescu, 1982; López Ritás y López Melida, 1985; Westermann, 1990) que el análisis químico del peciolo es mejor indicador del estado nutricional del cultivo que el análisis de hoja. Las concentraciones de nitrógeno en peciolo de patata se muestran en la Tabla 5.37. En 1998 los valores están en la mayoría de las parcelas comprendidos entre 2-3%, valores considerados como normales por Westermann (1990), estando alrededor de 2,75%, valor considerado normal por Walworth y Muniz (1993) para la fase final. En 1999 y 2000, las concentraciones están en casi todos los casos por debajo de los valores citados, lo que se atribuye a la fecha tardía de muestreo de los peciolo analizados. La concentración de N es más elevada en hojas que en peciolo, lo que concuerda con los resultados de Biemond y Vos (1992) en un ensayo en invernadero con la variedad Bintje.

Los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo están afectados significativamente por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre estos factores.

El porcentaje de nitrógeno en hoja y peciolo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000 (Tabla 5.37). Estas diferencias se atribuyen, como se ha indicado, al hecho de que las fechas muestreadas corresponden a distintos momentos del desarrollo del cultivo (inicio o final de la fase de desarrollo de los tubérculos).

Al analizar la influencia de la dosis de fertilización orgánica, los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo aumentan con la dosis de fertilización orgánica, siendo

significativamente ($p < 0,05$) más elevados para las dosis más elevadas de gallinaza que se combinan con fertilización mineral, es decir, O3 (Figura 5.38a). Existe un paralelismo con lo observado en el suelo, puesto que los suelos fertilizados con la dosis O3 presentan las mayores concentraciones de amonio y nitrato. Si comparamos el nitrógeno en la hoja con el nitrógeno total en el suelo, se encuentra que el comportamiento de ambos frente a las distintas dosis de fertilización presenta un patrón idéntico (Figura 5.38a y b, 5.13).

En cuanto al tratamiento de fertilización mineral, los porcentajes significativamente ($p < 0,05$) más elevados de nitrógeno en hoja y peciolo (Figura 5.38b) corresponden a la dosis de fertilización mineral que incorpora nitrógeno (M3). Del mismo modo Biemond y Vos (1992) observaron que la concentración de nitrógeno total era más elevada para las dosis más altas de N aplicado.

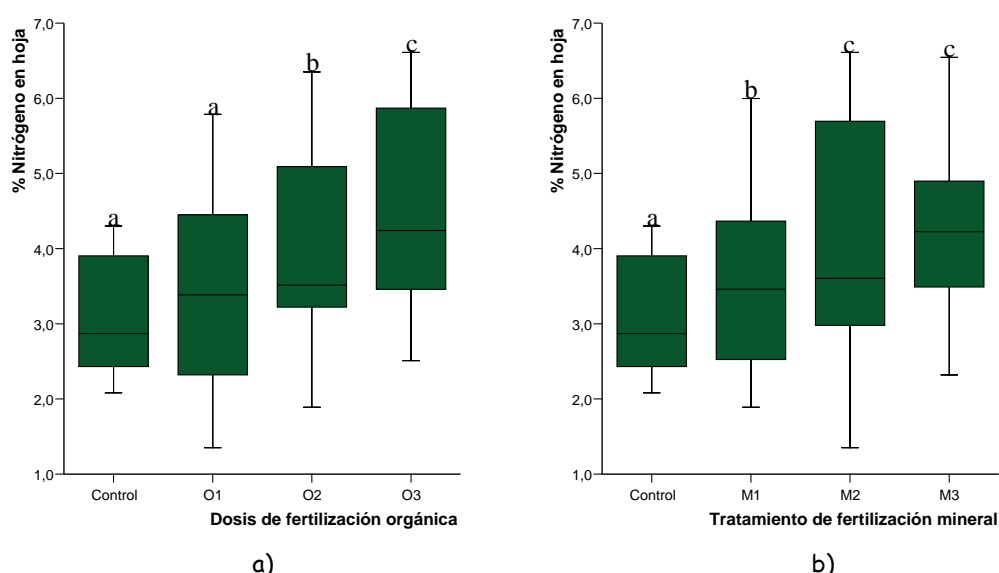


Figura 5.38.- % Nitrógeno en hoja en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral

En los tres años de estudio los tratamientos M y O presentan porcentajes de nitrógeno en hoja y en peciolo significativamente ($p < 0,05$) mayores que el control.

Las concentraciones de N en hoja y peciolo están altamente correlacionadas entre sí ($r = 0,809$, $p < 0,01$). Asimismo se han encontrado correlaciones altamente significativas de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo con la concentración de nitrógeno total así como con las concentraciones de nitrato y amonio en el suelo (Tabla 5.38).

Tabla 5.38.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo con distintos parámetros del suelo en la misma fecha de muestreo

	% Nitrógeno en hoja	% Nitrógeno en peciolo
Nitrato en suelo		0,339**
Amonio en suelo	0,261**	0,366**
Nitrógeno total en suelo	0,793**	0,637**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

Relación C/N en hoja y peciolo

A partir de las concentraciones de carbono y nitrógeno en hoja y peciolo se calculan los valores de la relación carbono/nitrógeno de los distintos tratamientos (Tabla 5.39) para las fechas estudiadas de los tres años.

Tabla 5.39.- Valores medios de la relación C/N en hojas y peciolos para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Relación C/N en hojas y peciolo de patata (% referido a materia seca)						
Tratamiento	67 ddp		98 ddp		87 ddp	
	20/07/98		26/07/98		10/08/00	
	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo
Control	14,9	19,1	16,2	39,6	17,3	47,6
O1M1	13,5	12,8	16,0	36,9	15,9	37,1
O1M2	11,3	10,6	14,1	27,9	19,4	42,8
O1M3	17,7	18,7	13,3	13,2	13,1	34,2
O2M1	10,6	10,2	15,3	37,6	15,5	31,2
O2M2	9,0	8,8	12,8	26,6	14,3	48,1
O2M3	11,9	12,1	12,8	27,1	10,7	28,1
O3M1	9,6	8,1	12,9	20,6	13,2	37,6
O3M2	8,5	8,8	11,5	21,4	12,6	34,1
O3M3	10,0	8,4	12,3	12,8	9,4	24,5
O	10,8	11,0	13,1	25,0	14,1	36,5
M	11,4	11,4	15,6	17,3	10,7	22,8

Las relaciones C/N en peciolo son mayores que en hoja, lo que refleja el menor contenido de proteína en peciolo, resultado del mayor grado de lignificación.

Las relaciones de C/N en hoja y peciolo están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre estos factores.

La relación C/N en hoja y peciolo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 2000 que en 1999 y 1998. Las muestras analizadas en el año 2000 corresponden a la fecha más tardía.

Las relaciones C/N en hoja y peciolo disminuyen al aumentar la dosis de fertilización orgánica y presentan valores significativamente más bajos en el tratamiento M3 (que incorpora N mineral), de acuerdo con las variaciones de las concentraciones de nitrógeno. Las parcelas control presentan los valores más altos de dicha relación.

Asimismo en los tres años de estudio la relación C/N en hoja y peciolo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el control que en los tratamientos M y O, de acuerdo con las diferencias en las concentraciones de C y N.

Fósforo en hoja y peciolo

Las concentraciones de fósforo en hoja (Tabla 5.40) se encuentran dentro del rango considerado como suficiente en hojas de patata (2,0 a 7,0 g kg⁻¹) por Gupta *et al.* (1995), los cuales trabajan con la variedad Russet Burbank. Las concentraciones de fósforo obtenidas en este estudio son comparables al valor óptimo de 0,39% publicado por Sanz *et al.* (1982) para los 65 d.d.p y en todo caso superiores al valor crítico de 0,22% presentado por Westermann y Kleinkopf (1984), para la variedad Russet Burbank. Para el final de la estación, los valores aquí obtenidos son superiores o iguales al valor 0,2% citado como normal por Walworth y Muniz (1993). Se observa, por tanto, que los niveles de fósforo en hoja son elevados durante todo el ciclo del cultivo en 1998 y 2000 y aceptables en 1999.

Tabla 5.40.- Concentraciones medias de fósforo (g kg⁻¹) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Fósforo (g kg ⁻¹) en hoja										
	1998			1999				2000			
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08
Control	6,0	4,6	2,6	4,2	3,6	2,8	2,1	4,6	4,3	3,3	4,7
O1M1	5,8	4,3	2,0	3,1	2,6	2,3	2,0	4,6	3,1	2,6	2,4
O1M2	6,6	4,8	2,3	4,1	2,9	2,8	2,0	4,5	3,3	2,3	2,5
O1M3	6,5	4,6	2,8	4,1	2,8	6,1	2,0	4,4	4,0	3,0	2,7
O2M1	6,5	4,5	2,9	3,3	2,5	2,6	1,8	3,8	3,3	2,6	2,3
O2M2	6,6	5,1	2,6	3,5	3,7	2,6	2,1	4,7	3,8	2,6	3,1
O2M3	6,6	5,1	3,1	4,1	3,0	2,4	2,1	5,5	4,3	3,0	2,7
O3M1	5,5	4,4	2,8	3,7	2,7	2,4	2,0	4,8	4,0	3,1	3,0
O3M2	7,4	5,0	2,7	4,0	2,3	2,4	1,9	4,2	3,7	3,2	3,1
O3M3	6,6	4,8	2,8	4,0	2,7	2,9	2,2	6,1	4,7	3,6	3,8
O	6,8	4,9	3,3	3,6	2,9	2,7	2,0	4,6	6,3	3,3	3,2
M	5,6	4,7	3,7	3,2	2,9	2,6	1,9	4,9	3,4	2,9	2,9

Las concentraciones de fósforo en peciolo (Tabla 5.41), lo mismo que las de nitrógeno son más bajas que en hoja. Freeman *et al.* (1998) citan concentraciones adecuadas de

fósforo en peciolo para la variedad Kennebec al inicio de la tuberización de 0,37-0,42% y Maier *et al.* (1989a) de 0,41 a 0,53%. Maier *et al.* (1994b) encuentran, para esta misma variedad al inicio de la tuberización, valores entre 0,46 y 0,57% asociados al máximo rendimiento. Roberts y Dow (1982) y Westermann y Kleinkopf (1984) proponen el rango de 0,35-0,45% de fósforo en peciolo como adecuado en el inicio de la tuberización para la variedad Russet Burbank. Las concentraciones en el presente trabajo se encuentran en general dentro del rango óptimo de Maier *et al.* (1994b) en 1998 y 2000 y muy por debajo de los rangos recomendados para la variedad Kennebec en 1999.

Tabla 5.41.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en peciols para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Fósforo (g kg^{-1}) en peciolo										
	1998			1999				2000			
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08
Control	5,7	3,0	3,2	3,8	2,0	1,2	0,9	6,3	3,6	3,1	3,7
O1M1	4,4	2,0	3,2	2,1	1,3	1,0	1,0	5,2	2,6	1,9	1,4
O1M2	3,7	2,4	2,5	2,7	2,3	1,5	1,0	4,7	2,5	1,4	1,9
O1M3	5,5	2,4	2,3	3,1	1,6	1,4	0,9	5,3	2,8	1,5	2,1
O2M1	4,1	2,3	2,6	2,3	1,6	1,1	1,4	5,2	2,3	1,5	1,8
O2M2	4,9	3,0	3,1	3,3	2,3	1,3	0,8	5,2	2,9	2,2	1,7
O2M3	4,2	2,8	3,3	3,4	1,8	1,2	1,4	5,6	3,4	2,2	2,4
O3M1	5,3	2,7	2,5	2,3	1,6	1,1	0,9	5,6	3,8	2,4	2,1
O3M2	5,1	2,3	3,7	3,1	1,4	1,1	0,9	5,2	2,6	1,6	1,8
O3M3	5,6	2,5	2,9	4,4	1,5	1,2	1,0	6,4	3,9	4,0	3,1
O	4,5	2,2	4,4	3,3	2,2	1,1	1,0	5,5	3,5	3,3	2,4
M	4,6	2,5	3,0	2,3	1,6	1,2	0,9	5,5	2,8	2,6	2,1

Las concentraciones de fósforo en hoja están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fecha de muestreo y el tratamiento de fertilización mineral, mientras las concentraciones de fósforo en peciolo lo están por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral. En ambos casos existen interacciones año x fecha y año x dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$).

Las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente ($p < 0,05$) menores en 1999. Para eliminar el efecto causado por la tardía fecha de muestreo incluida en 1998, se comparan las concentraciones en el inicio de la tuberización en los tres años, encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$): en hoja $1998 > 2000 > 1999$ y en peciolo $2000 > 1998 > 1999$ (Figura 5.39). Las menores concentraciones de fósforo en hoja y peciolo en 1999 están de acuerdo con los valores de fósforo asimilable en el suelo.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de fósforo en hoja están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) en los tres años de estudio por la fecha y en el año 2000 por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral. Las concentraciones de fósforo en peciolo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha y el tratamiento de fertilización mineral en los tres años de estudio y por la dosis de fertilización orgánica en los años 1998 y 2000 (Figura 5.41).

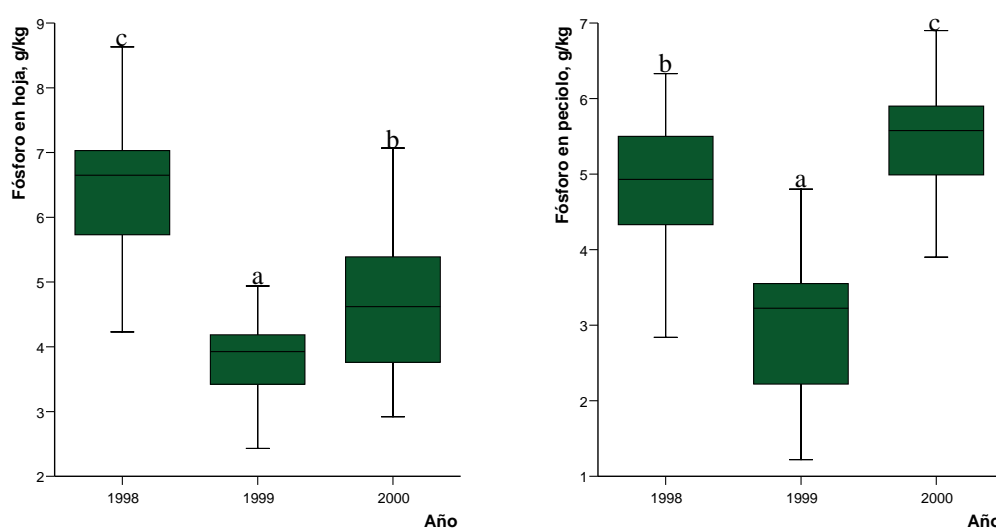


Figura 5.39.- Concentración de fósforo en hoja para los tres años de estudio al inicio de la tuberización

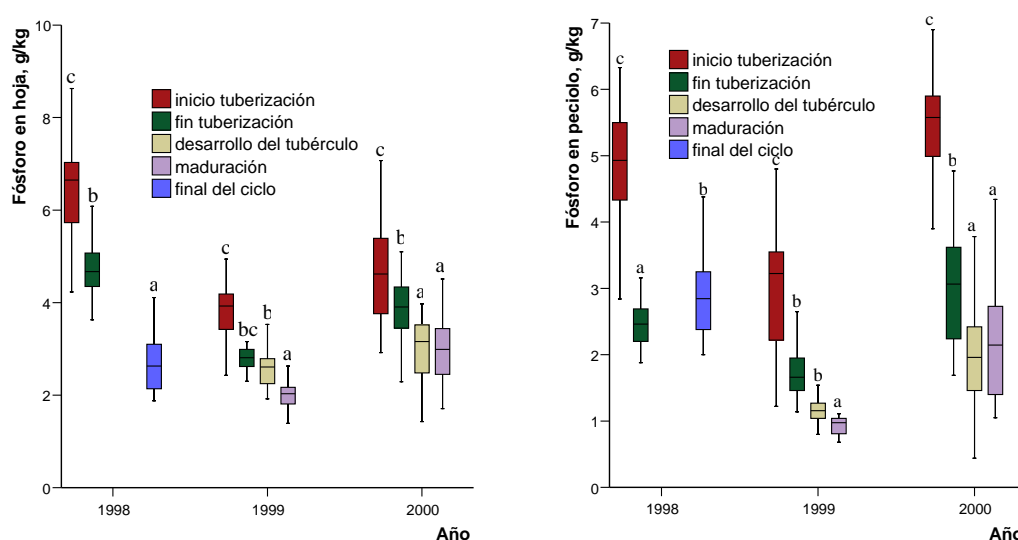
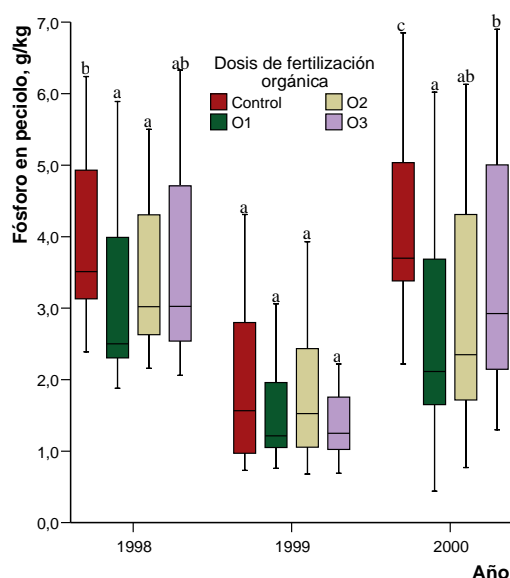


Figura 5.40.- Concentración de fósforo en hoja y peciolo, $g\ kg^{-1}$ para los tres años en función de la fecha de muestreo

Las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo disminuyen a lo largo del ciclo vegetativo (Figura 5.40), concordando con lo referido por otros autores, como Roberts y

Dow (1982), Westermann y Kleinkopf (1984) y Lema (1996). Según Lorenz (1947), a partir del inicio de la tuberización cesa la absorción de fósforo, al tiempo que se produce un trasvase de este elemento hacia los órganos de almacén.

En 2000, las concentraciones de fósforo en hoja presentan valores máximos en las parcelas control y mínimos en los tratamientos O1 (dosis menor de abonado orgánico) y M1 (tratamiento que incorpora potasio mineral pero no fósforo). Asimismo las concentraciones



de fósforo en peciolo (Figura 5.41) presentan valores máximos en las parcelas control y mínimos en el tratamiento O1 en 1998 y 2000. En cuanto al tratamiento de fertilización mineral, su influencia no presenta una pauta consistente en los tres años de estudio. La menor concentración de fósforo en parcelas fertilizadas se atribuye a un efecto de dilución, producto del mayor desarrollo vegetal en estas parcelas.

Figura 5.41.- Fósforo en peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de estudio

En los tres años de estudio no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos M y O para la concentración de fósforo en hoja ni en peciolo.

Las concentraciones de P en hoja y peciolo se correlacionan significativamente entre sí ($p < 0,01$, $r = 0,692$). Asimismo se han encontrado correlaciones altamente significativas ($p < 0,01$) con la concentración de N en hoja y con el P Mehlich 3 en el suelo en las mismas fechas (Tabla 5.42). No se encuentra correlación positiva entre las concentraciones de P en hoja y peciolo y la concentración de P Olsen en el suelo, lo que confirma la mejor adecuación del reactivo Mehlich 3 para la determinación de P asimilable en estos suelos.

Tabla 5.42.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Fósforo en hoja	Fósforo en peciolo
% Nitrógeno en hoja	0,749**	0,480**
% Nitrógeno en peciolo	0,448**	
Fósforo Mehlich-3 en suelo	0,340**	0,563**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

La correlación altamente significativa entre concentraciones de N y P en hoja parece confirmar la influencia positiva del fósforo en la absorción de nitrógeno, comentada en el apartado de suelos.

Potasio en hoja y peciolo

Las concentraciones de potasio en hoja se muestran en la Tabla 5.43. En general, éstas son superiores a las publicadas por Walworth y Muniz (1993), que consideran óptimo el valor de 3,50% en media estación para las variedades Russet Burbank, Kufri Chandramukhi, y Green Mountain. Por su parte Westermann (1990) presenta como normales concentraciones de 4 a 8% de potasio en hoja para la variedad Russet Burbank, durante la formación de la cosecha; las concentraciones en este estudio están casi siempre por encima del 4% en los tres años de ensayo y por encima del 8%, excepto en las parcelas control y el tratamiento O, en el año 2000.

Tabla 5.43.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Potasio (g kg^{-1}) en hoja											
	1998			1999				2000				
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08	
Control	45,5	44,5	31,4	47,7	30,0	23,1	18,5	39,3	26,7	31,7	13,6	
O1M1	54,3	61,0	33,1	66,7	40,6	39,2	33,5	61,0	44,5	40,4	44,5	
O1M2	44,3	42,8	37,3	68,2	40,3	46,2	42,3	46,5	44,1	35,3	42,2	
O1M3	49,5	54,8	27,1	65,5	34,9	38,7	29,8	57,2	48,4	43,4	37,4	
O2M1	53,5	64,6	42,3	65,7	40,0	52,1	42,7	53,0	62,4	40,6	48,2	
O2M2	52,3	42,5	39,2	81,4	60,0	40,0	42,0	60,7	57,5	57,3	52,8	
O2M3	55,7	55,6	36,5	65,1	40,0	35,0	32,0	67,0	66,2	51,7	48,7	
O3M1	56,1	57,5	38,9	71,3	42,7	49,2	47,9	65,3	52,8	44,0	57,2	
O3M2	44,0	47,3	43,4	85,7	50,6	47,9	58,1	59,3	59,2	56,2	63,6	
O3M3	43,9	54,8	39,5	73,0	38,1	41,8	37,6	66,5	59,3	46,3	58,5	
O	47,1	50,9	37,5	94,8	43,5	40,8	43,9	57,4	50,6	43,3	43,5	
M	49,0	52,0	36,7	62,4	35,7	42,5	29,6	42,2	35,5	30,0	36,9	

A finales de estación se considera normal una concentración de 2,5% de potasio en hoja (Walworth y Muniz, 1993) para las variedades Russet Burbank y Kufri Chandramukhi,

la cual es superada en el presente estudio en todas las parcelas excepto las parcelas control en 1999 y 2000. Estas elevadas concentraciones de potasio en hoja están de acuerdo con los elevados niveles de potasio asimilable en el suelo y podrían revelar un consumo de lujo de potasio, resultado de una fuerte fertilización.

Tabla 5.44.- Concentraciones medias de potasio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Potasio (g kg^{-1}) en peciolo										
	1998			1999				2000			
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08
Control	98,3	63,1	58,5	86,2	63,2	47,2	24,2	46,5	35,6	20,8	13,8
O1M1	107,8	46,5	78,0	198,9	119,9	98,0	72,7	92,0	83,0	68,6	55,4
O1M2	107,2	56,7	71,4	149,4	100,9	102,2	103,0	120,2	58,7	68,9	70,2
O1M3	117,4	46,9	73,0	152,9	112,4	81,0	57,3	90,6	80,4	62,7	82,0
O2M1	107,3	49,0	85,1	170,0	120,7	55,8	71,3	86,8	60,7	63,3	138,3
O2M2	93,8	53,1	69,8	192,3	154,0	129,2	78,9	66,6	79,2	66,4	62,1
O2M3	110,7	50,9	79,1	188,2	143,2	140,5	53,5	80,3	81,1	55,7	100,5
O3M1	119,3	54,9	86,2	103,4	235,9	144,5	109,3	97,9	93,9	115,2	133,1
O3M2	126,3	30,6	79,2	206,5	175,8	195,7	114,5	87,2	76,5	49,2	70,6
O3M3	126,3	47,3	90,0	189,0	145,4	102,6	106,2	117,6	124,7	106,2	112,0
O	112,8	43,7	78,0	141,3	104,6	112,9	72,9	75,8	83,3	81,7	71,2
M	114,0	48,9	58,0	184,8	97,6	77,2	58,3	87,6	52,3	53,2	43,7

Las concentraciones de potasio en peciolo son considerablemente más altas que en hoja (Tabla 5.44), hecho observado por otros autores en estudios similares (Sharma y Arora, 1989). Chapman *et al.* (1992) citan valores del 12-14% y Maier *et al.* (1994b) del 11-14,1% al inicio de la tuberización para el máximo rendimiento de la variedad Kennebec. Holm y Nylund (1978a y b; citados por Lema, 1996) para esta misma variedad encuentran valores del orden del 11% a los 52 d.d.p., del 12% a los 67 d.d.p. y un poco superiores al 6% al final del ciclo. Los valores del presente estudio, exceptuando las parcelas control, son muy próximos a los citados en 1998, algo superiores en 1999 e inferiores en el año 2000 (Tabla 5.44). Roberts y Dow (1982) consideran rango crítico el de 8-9% a finales de estación para las variedades Kennebec, Jaerla y Baraka; los valores de este estudio son considerablemente más bajos.

Las concentraciones de potasio en peciolo son superiores a las de nitrógeno y fósforo, de acuerdo con Prummel y von Barnau-Sijthoff (1984).

Las concentraciones de potasio en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de

fertilización mineral, habiendo interacción año x fecha y año x tratamiento de fertilización mineral.

Al estudiar la influencia del año debe tenerse en cuenta que en distintos años se han tomado muestras en distintas fechas. La aparentemente menor concentración de potasio en hoja y peciolo en 1998 debe relacionarse con la inclusión de la fecha tardía del 8 de septiembre. Si se comparan las concentraciones de los tres años en el inicio de la tuberización, se observa que éstas son significativamente ($p < 0,05$) más altas en 1999 (Figura 5.42). La menor concentración de potasio en peciolo en 2000 está de acuerdo con la menor concentración de potasio de cambio en el suelo. Sin embargo, el año 2000 es el de mayor producción de tubérculo, como se verá en el capítulo correspondiente, por lo que no parece que las concentraciones de potasio sean limitantes.

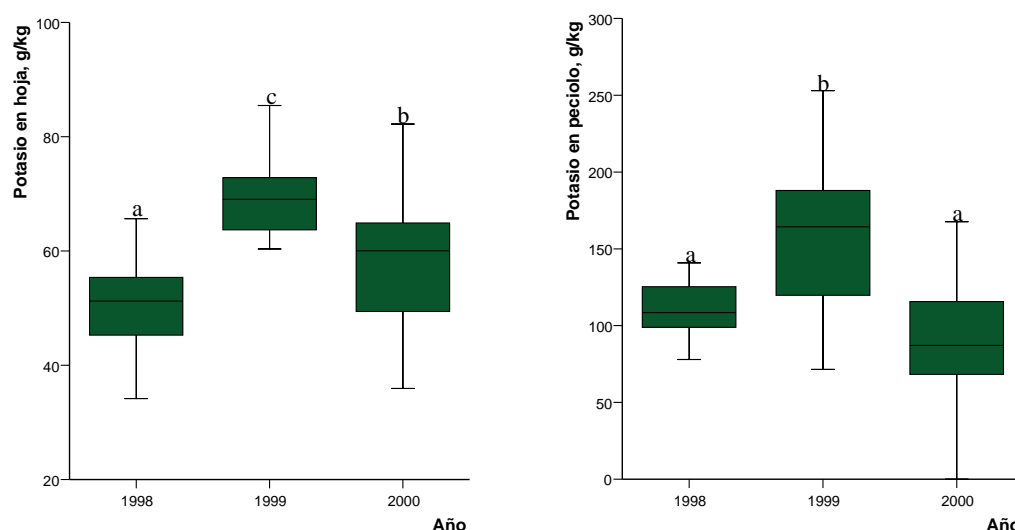


Figura 5.42.- Concentración de potasio en hoja y peciolo para los tres años de estudio al inicio de la tuberización

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de potasio en hoja están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente en los tres años de estudio por la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, mientras que las concentraciones de potasio en peciolo están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente por la fecha en los años 1998 y 1999 y por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral en los años 1999 y 2000.

En general, la concentración de potasio en hojas y peciolos desciende según avanza el ciclo vegetativo, con algunas diferencias entre los tres años de ensayo (Figura 5.43). Sharma y Arora (1989) encuentran que la concentración de potasio en hojas y peciolos

decrece con la madurez a bajas dosis de fertilización potásica, mientras que a altos niveles de fertilización la concentración de potasio se mantiene hasta 45 d.d.p. y después decrece constantemente hasta la madurez.

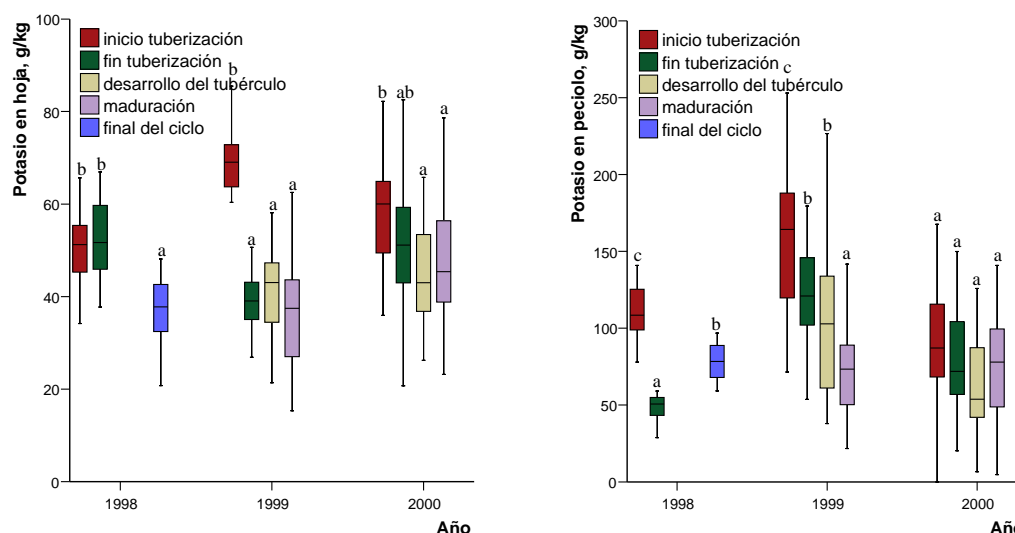


Figura 5.43. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg⁻¹ para los tres años en función de la fecha de muestreo

En general las concentraciones de potasio en hoja y peciolo son significativamente ($p < 0,05$) menores en las parcelas control que en las que combinan fertilización orgánica y mineral, como era de esperar, dado que todos los tratamientos de fertilización mineral incorporan potasio (Figura 5.44). Asimismo se observa un incremento de la concentración de potasio en hoja y peciolo con la dosis de fertilización orgánica, mientras el efecto del tratamiento de fertilización mineral no es consistente entre los tres años. Incrementos en la concentración de potasio en hoja por la aplicación de éste como fertilizante también fueron observados por otros autores, como Ezeta y McCollum (1972), Sharma y Arora (1989) y Pauletti y Menarim (2004). Asimismo Chapman *et al.*, (1992) observaron que las concentraciones de potasio en peciolo se incrementaban con la fertilización potásica.

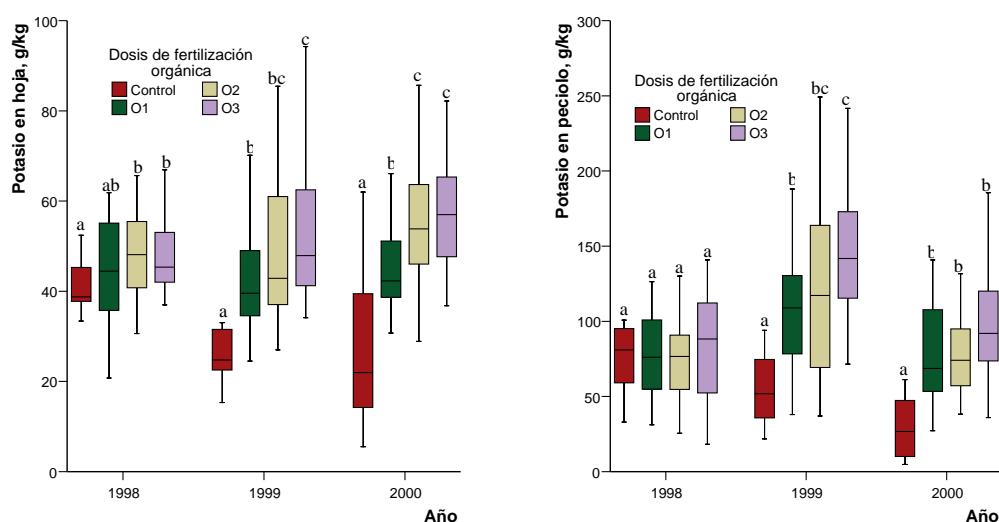


Figura 5.44.- Potasio en hoja y peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica en los tres años de ensayo

En los tres años de estudio se encuentran concentraciones de potasio en hoja y peciolo significativamente ($p < 0,05$) mayores en los tratamientos M y O que en el control.

Las concentraciones de K en hoja y peciolo se correlacionan significativamente ($p < 0,01$, $r = 0,302$) entre sí.

Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.45. Las correlaciones positivas de la concentración de potasio en hoja con las concentraciones de fósforo Mehlich 3 y nitrógeno en el suelo parecen revelar una sinergia entre estos elementos. La concentración de potasio de cambio presenta una elevada correlación con la concentración de K en peciolo, pero no en hoja.

Tabla 5.45.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Potasio en hoja	Potasio en peciolo
% Nitrógeno en hoja	0,338**	
Fósforo en hoja	0,268**	
Fósforo en peciolo	0,260**	
Potasio de cambio en suelo		0,410**
Nitrógeno total en suelo	0,282**	
Fósforo Mehlich en suelo	0,479**	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Calcio en hoja y peciolo

Las concentraciones de calcio en hoja se muestran en la Tabla 5.46. Estas concentraciones se encuentran dentro del rango de composición normal de la hoja, que, según Bergmann y Bergmann (1985), va de 0,5 a 2%. Para la variedad Russet Burbank, Walworth y Muniz (1993) consideran un rango óptimo el comprendido entre 6 y 20 g kg⁻¹ mientras que Gupta *et al.* (1995) indican que concentraciones de calcio comprendidas entre 5 y 30 g kg⁻¹ son suficientes para esa misma variedad. No cabe esperar, por tanto, en el presente ensayo problemas de deficiencia de calcio.

Las concentraciones de calcio en peciolo (Tabla 5.47) están dentro del intervalo considerado como adecuado para patatas regadas (0,4 al 1,4%) por Maier *et al.* (1987), aunque son inferiores al intervalo considerado normal (1,5-2,5%) a media estación por Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank, y superiores al rango normal para finales de estación (0,54-0,58%) citado por Walworth y Muniz (1993) para las variedades Russet Burbank y Green Mountain.

Tabla 5.46.- Concentraciones medias de calcio (g kg⁻¹) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Calcio (g kg ⁻¹) en hoja										
	1998			1999				2000			
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08
Control	11,6	9,8	24,1	11,2	11,1	11,5	19,3	13,3	9,2	9,9	14,4
O1M1	7,7	10,0	18,1	11,9	8,2	12,0	13,2	12,7	7,3	8,0	12,2
O1M2	12,0	11,0	17,8	13,6	8,9	10,2	14,3	13,5	8,0	8,7	15,7
O1M3	9,8	7,7	21,1	13,3	9,6	10,9	14,1	12,7	8,6	7,8	13,0
O2M1	11,5	9,9	17,5	10,4	6,8	8,9	13,1	10,4	7,5	7,8	12,7
O2M2	13,7	8,0	15,0	11,6	8,3	7,5	12,4	12,4	6,3	10,4	12,4
O2M3	11,1	8,5	17,8	9,6	9,5	13,1	13,8	10,6	6,7	6,9	11,1
O3M1	11,0	8,7	12,9	9,5	7,2	9,7	10,9	11,6	6,8	7,9	11,6
O3M2	12,4	8,5	13,5	12,5	8,0	11,2	11,7	11,9	7,4	8,1	13,2
O3M3	11,4	7,9	12,5	10,0	8,9	9,2	10,6	11,6	6,9	6,4	9,1
O	9,6	9,4	18,2	11,0	8,1	9,6	13,2	12,8	7,9	7,1	11,8
M	13,9	9,7	19,1	9,5	9,7	8,2	14,5	13,4	9,8	8,2	11,9

Las concentraciones de calcio en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

Tabla 5.47.- Concentraciones medias de calcio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Potasio (g kg^{-1}) en peciolo										
	1998			1999				2000			
	53 ddp 06/07	67 ddp 20/07	117 ddp 08/09	55 ddp 14/06	70 ddp 29/06	83 ddp 12/07	97 ddp 26/07	45 ddp 30/06	59 ddp 14/07	73 ddp 28/07	86 ddp 10/08
Control	8,4	9,9	18,3	10,7	7,3	11,3	10,7	13,2	6,4	6,5	11,0
O1M1	7,0	10,9	16,4	8,5	5,7	7,4	8,7	11,1	7,0	9,7	10,2
O1M2	10,0	10,0	16,2	9,7	6,6	9,5	11,1	10,7	8,8	10,0	11,7
O1M3	7,1	9,0	16,6	9,8	7,6	8,6	10,5	14,4	8,6	10,1	10,1
O2M1	9,7	10,3	15,0	8,7	5,4	7,5	9,3	9,2	7,9	9,2	9,8
O2M2	11,4	9,0	11,7	9,9	7,5	7,9	9,4	11,2	7,9	7,5	8,3
O2M3	9,4	8,8	14,8	9,1	8,0	9,5	10,5	10,6	5,6	7,8	10,3
O3M1	10,2	9,7	12,3	8,7	5,7	6,9	7,7	10,5	6,9	8,1	9,0
O3M2	13,3	10,1	11,2	10,1	7,7	8,1	9,9	11,7	6,9	10,0	11,0
O3M3	10,5	8,1	11,3	8,4	7,2	7,7	8,9	11,6	5,9	7,5	6,1
O	10,5	9,8	13,2	11,3	5,8	8,1	10,1	10,3	5,6	7,1	8,4
M	9,5	10,3	16,3	9,1	8,3	9,4	10,8	12,2	7,5	9,4	9,5

La concentración de calcio en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en 1998 que en 1999 y 2000 si se consideran todas las fechas, mientras que la comparación de las concentraciones al inicio de la tuberización en los tres años indica que no hay un efecto significativo sobre la concentración de calcio en hoja, mientras que en peciolo la concentración es significativamente ($p < 0,05$) más alta en 2000 que en 1998 y 1999. La mayor concentración de calcio en peciolo en 2000 está de acuerdo con la mayor concentración de calcio de cambio en el suelo.

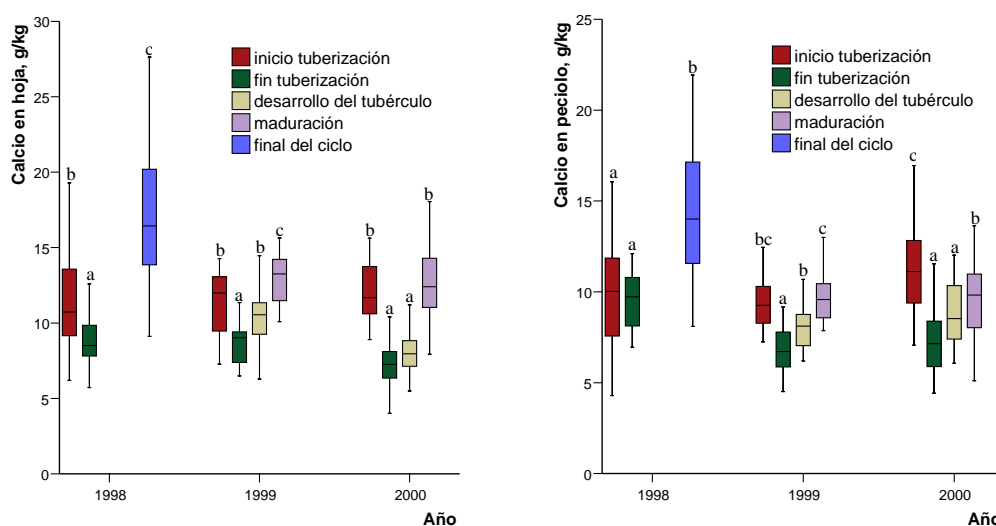


Figura 5.45. Concentración de calcio en hoja y peciolo, g kg^{-1} , para los tres años en función de la fecha de muestreo

Las concentraciones de calcio en hoja y en peciolo disminuyen entre la primera y la segunda fecha muestreadas y se incrementan a continuación (Figura 5.45). Manrique y

Uehara (1984a y b; citado por Lema, 1996) indica que se produce una acumulación progresiva de este nutriente en el tejido y Hossner y Doll (1970) afirman que la suficiencia está asegurada si el nutriente se acumula a lo largo de la estación.

Las concentraciones de calcio en hoja y peciolo en las parcelas control son significativamente ($p<0,05$) más elevadas que en el tratamiento O3 y que en el tratamiento M1 (Figura 5.46). Asimismo se encuentran concentraciones de calcio en hoja significativamente mayores ($p<0,05$) en el control que en los tratamientos O y M, mientras que para la concentración de calcio en peciolo no se encuentran diferencias significativas ($p<0,05$) entre el control y los tratamientos O y M.

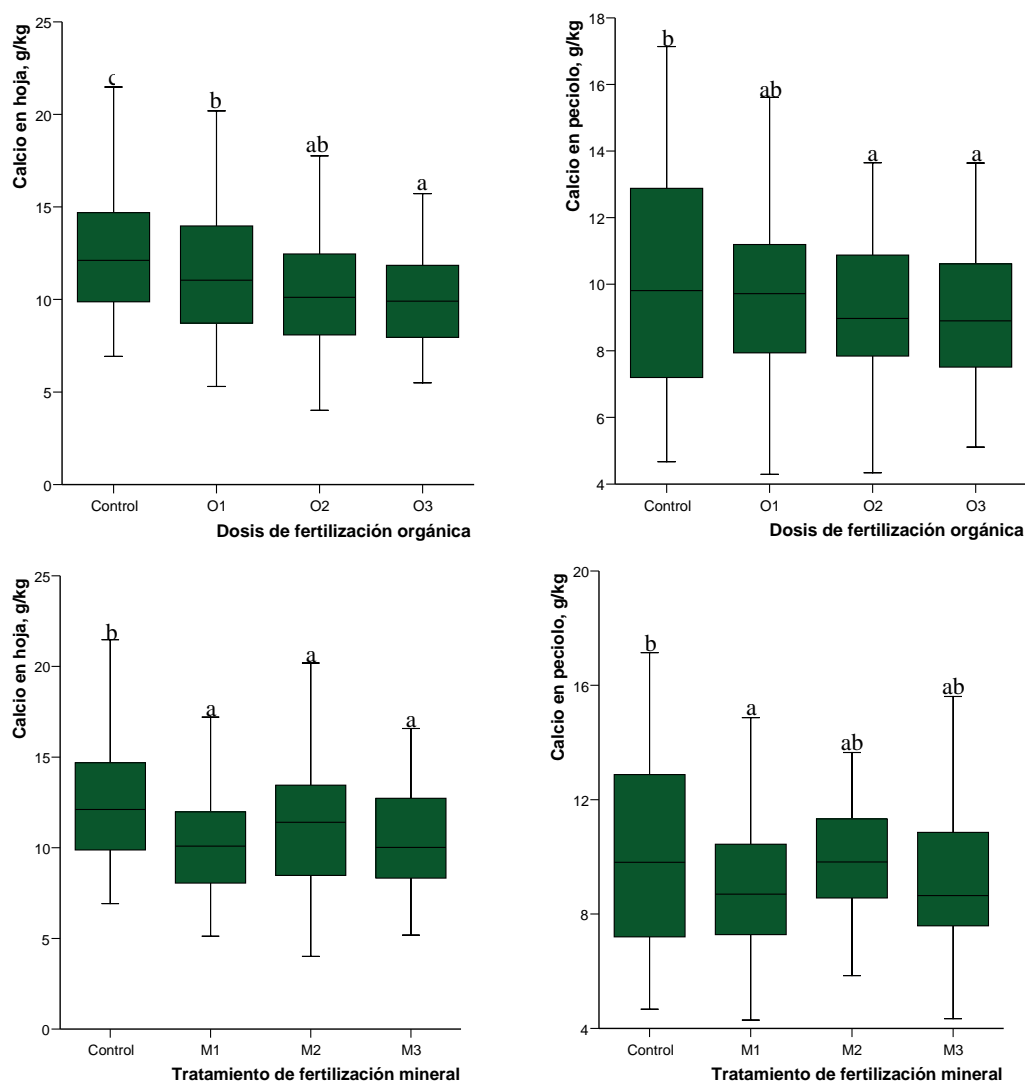


Figura 5.46.- Calcio en hoja y peciolo en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral

Las concentraciones de Ca en hoja y peciolo presentan una correlación altamente significativa ($p<0,01$; $r=0,701$) entre sí. Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros y

para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.48. Estas correlaciones parecen indicar sinergias y antagonismos entre distintos elementos nutritivos. De forma similar Maier *et al.* (2002) encuentran que el encalado da lugar a un aumento significativo del calcio y una disminución de potasio en hoja. La correlación positiva entre calcio en hoja y peciolo y potasio de cambio es contraria a los resultados de Harrison *et al.* (1982) y debe atribuirse a la correlación positiva entre calcio y potasio de cambio en el suelo.

Tabla 5.48.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Calcio en hoja	Calcio en peciolo
% Nitrógeno en hoja	-0,628**	
% Nitrógeno en peciolo	-0,508**	
Fósforo en peciolo		0,199**
Potasio en hoja	-0,222**	
Potasio en peciolo	-0,105*	-0,199**
pH del suelo en agua	0,232**	0,155**
Nitrógeno total en suelo	-0,536**	
Fósforo Mehlich en suelo	0,225**	0,367**
Potasio de cambio en suelo	0,209**	0,216**
Calcio de cambio	0,294**	0,332**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Magnesio en hoja y peciolo

Las concentraciones de magnesio en hoja obtenidas en el presente ensayo (Tabla 5.49) son con frecuencia inferiores al rango normal 0,5-0,8% citado por Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank en 1998, superiores a este rango en 1999 y se encuentran dentro de este intervalo o ligeramente por encima en 2000. Este hecho está de acuerdo con las bajas concentraciones de magnesio de cambio en el suelo en 1998 y las elevadas concentraciones en 1999. Según van der Zaag (1987), las concentraciones de magnesio en la parte aérea pueden ser muy variables durante el período de máximo desarrollo del follaje, siendo frecuentes concentraciones del 0,3-0,4% en cultivos bien provistos (Tabla 5.49).

Los valores de Mg en peciolo en el año 1998, similarmente a las concentraciones en hoja, son inferiores a los considerados críticos (0,8-1%) por Sanz *et al.* (1982) y a los normales (0,5 a 1,5%) a media estación según Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank, pero comparables a los citadas por Walworth y Muniz (1993) como normales (0,11-0,49%) para las variedades Russet Burbank y Green Mountain. En los años 1999 y 2000 las

concentraciones (Tabla 5.50) se encuentran dentro del intervalo normal de Westermann (1990).

Tabla 5.49.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Magnesio (g kg^{-1}) en hoja											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	4,0	4,2	4,2	14,7	11,6	13,5	16,3	16,3	11,3	12,6	16,2
O1M1	3,3	4,1	3,2	13,6	9,1	12,9	10,8	7,1	4,9	4,3	6,5
O1M2	4,6	5,0	6,1	8,6	7,8	8,3	9,5	8,4	6,5	5,6	7,9
O1M3	4,4	4,1	3,0	12,6	12,4	13,0	14,5	8,6	8,6	7,4	10,2
O2M1	5,2	4,8	5,4	12,3	9,6	10,0	11,2	8,0	6,2	5,4	5,8
O2M2	6,3	5,7	7,1	9,4	12,1	6,8	8,2	10,7	6,5	9,2	9,6
O2M3	5,5	4,8	5,0	12,4	9,9	14,5	13,9	11,0	8,9	7,9	10,0
O3M1	5,8	5,5	5,0	12,1	10,3	10,5	9,4	8,0	5,2	4,9	5,7
O3M2	5,5	5,6	6,4	8,4	6,9	7,5	6,3	9,7	7,0	6,2	7,6
O3M3	5,2	5,5	5,3	12,7	9,8	12,0	10,0	9,9	7,6	5,5	8,4
O	4,5	5,4	6,4	11,4	7,9	10,5	10,8	11,7	8,9	6,7	11,2
M	5,3	4,6	5,1	9,4	14,4	11,7	13,4	15,1	13,8	11,3	16,7

Tabla 5.50.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Magnesio (g kg^{-1}) en peciolo											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	2,1	2,5	7,0	14,4	12,7	18,4	21,0	11,6	8,1	13,0	19,3
O1M1	2,0	2,1	4,8	12,3	10,2	14,5	15,2	4,5	3,9	5,0	5,2
O1M2	3,5	2,9	6,7	7,1	10,7	7,1	11,2	7,1	5,8	7,0	9,2
O1M3	2,3	2,3	4,1	10,9	14,5	12,9	19,4	7,3	5,6	6,7	8,8
O2M1	3,0	2,2	5,7	11,2	8,1	9,6	16,6	4,3	3,6	4,9	6,3
O2M2	4,0	3,7	6,3	7,9	9,0	9,3	12,3	7,3	6,1	5,2	6,9
O2M3	3,0	2,5	3,7	12,7	12,8	18,5	20,2	7,1	5,6	6,7	11,8
O3M1	4,2	3,1	5,2	12,4	10,8	9,7	11,7	4,1	3,3	3,8	3,1
O3M2	4,5	2,8	5,1	7,1	7,6	8,4	6,7	5,7	3,9	4,3	5,5
O3M3	4,2	3,0	4,6	13,5	15,1	14,4	14,2	7,4	5,4	5,9	5,0
O	3,7	3,1	6,6	12,1	6,8	13,4	12,1	6,4	6,1	7,6	8,3
M	2,8	2,7	5,9	9,7	15,7	13,2	17,7	13,3	9,9	15,0	14,3

Las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x tratamiento de fertilización mineral en hoja y peciolo y año x fecha en hoja.

La concentración de magnesio en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente mayor en 1999 que en 1998 y 2000 ($p < 0,05$), lo mismo que ocurre con la concentración de magnesio de cambio en el suelo (Figura 5.47). La comparación de las

fechas de inicio de la tuberización conduce al resultado 1999 > 2000 > 1998, tanto en hoja como en peciolo.

Las concentraciones de magnesio en hoja son significativamente más altas en las parcelas control que en los tratamientos que combinan abonado orgánico y mineral. En cuanto al peciolo, las concentraciones son significativamente más altas en las parcelas control y significativamente más bajas en el tratamiento O3. Las menores concentraciones de magnesio en las parcelas fertilizadas se atribuyen a un efecto de dilución.

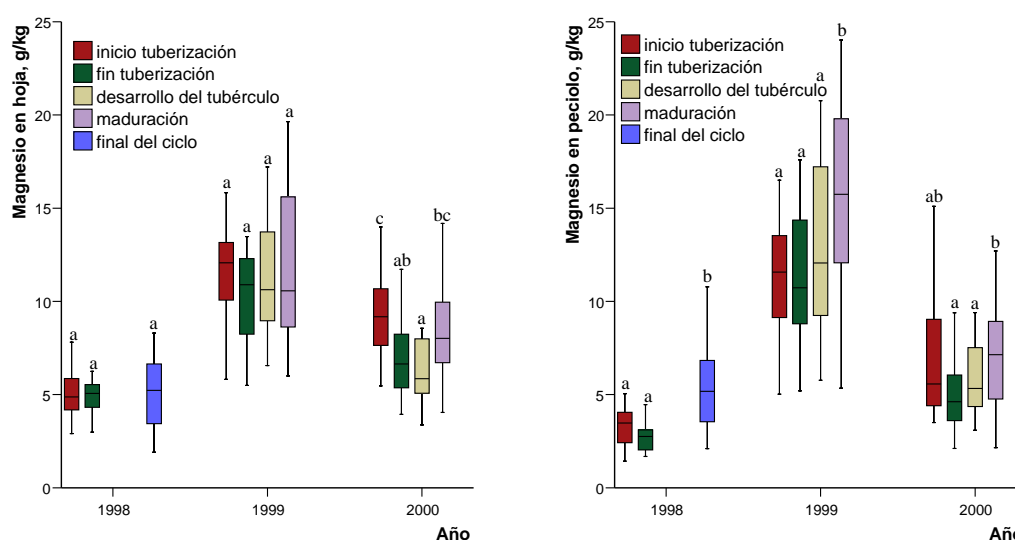


Figura 5.47. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, gkg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo

A lo largo del ciclo, los niveles de magnesio en hoja no experimentan variaciones significativas en los años 1998 y 1999, pero sí en el año 2000, en que se observa una disminución desde el inicio de la tuberización (Figura 5.47). En cuanto a los niveles de magnesio en peciolo se presentan diferencias significativas en los tres años, observándose un incremento a partir de final de la tuberización.

Con excepción del año 1998, las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo son significativamente ($p < 0,05$) más altas en el control y el tratamiento M que en el tratamiento O (Figura 5.48).

Las concentraciones de magnesio en peciolo son, por término medio, ligeramente superiores a las de hoja, presentando ambas concentraciones una correlación altamente significativa ($p < 0,01$, $r = 0,815$).

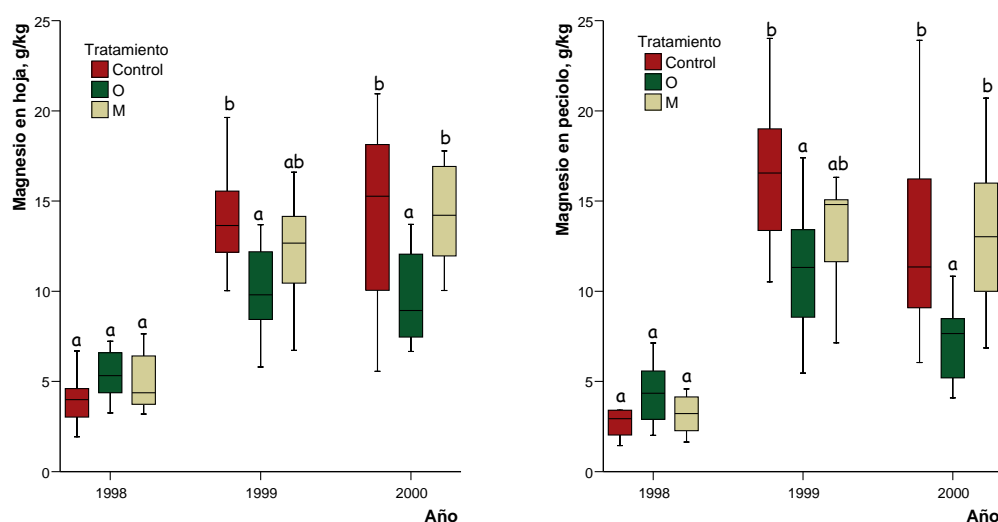


Figura 5.48. Comparación de la concentración de magnesio en hoja y peciolo, g kg^{-1} en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral con el control para los tres años de estudio

Las concentraciones de Mg en hoja y peciolo se correlacionan ($p < 0,01$) positivamente con la concentración de Ca en hoja y negativamente con las concentraciones de otros nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio (Tabla 5.51). Asimismo las concentraciones de magnesio presentan una correlación altamente significativa (positiva) con el magnesio de cambio del suelo y negativa con la relación K/Mg. La competencia con el K parece un factor decisivo en la absorción de magnesio. Harrison *et al.* (1982) indican una relación similar de Mg en hoja y peciolo con el Mg de cambio del suelo y una correlación negativa de Mg en hoja y peciolo con la relación K/Mg en el suelo. Por tanto el exceso de fertilización potásica podría estar afectando negativamente a la absorción de Mg.

Tabla 5.51.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Magnesio en hoja	Magnesio en peciolo
% Nitrógeno en hoja	-0,466**	-0,540**
% Nitrógeno en peciolo	-0,362**	-0,373**
Fósforo en hoja	-0,175*	-0,356**
Fósforo en peciolo	-0,133*	-0,343**
Potasio en hoja	-0,153**	-0,376**
Calcio en hoja	0,136*	0,193**
pH en KCl en suelo		0,204**
Magnesio de cambio en suelo	0,618**	0,549**
Relación K/Mg en suelo	-0,550**	-0,485**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Micronutrientes en hoja y peciolo

Cobre en hoja y peciolo

Sólo se muestran las concentraciones correspondientes a la fecha del 06/07/98, puesto que las concentraciones de cobre en otras fechas o bien se encuentran por debajo del límite de detección o son extraordinariamente elevadas, como consecuencia de la aplicación de funguicidas que contienen cobre. Si las comparamos con lo obtenido por diversos autores, los valores son elevados (entre 10 y 35 mg kg⁻¹ de materia seca), pero salvo en alguna parcela, se mantendrían dentro de los límites aceptables (Tabla 5.52). Así, Jones (1972) señala que concentraciones de cobre inferiores a 5 ppm o superiores a 20 ppm en tejidos vegetales indican deficiencias o toxicidades, respectivamente. Harrison *et al.* (1982) obtienen valores comprendidos entre 10 y 15 ppm. Bergmann y Bergmann (1985) consideran el intervalo de suficiencia de 7 a 15 ppm. Mathur y Levesque (1983) y Trehan y Grewal (1984) consideran como tóxicas concentraciones de 17 a 30 mg kg⁻¹. Walworth y Muniz (1993) consideran como valores normales en hoja y peciolo entre 5 y 30 ppm, y como tóxicos concentraciones superiores a 50 ppm.

En los años 1999 y 2000 parece existir deficiencia de Cu en el inicio de la tuberización, esto coincide con las concentraciones de Cu disponible inferiores al nivel crítico obtenidas en el suelo al inicio del ciclo del cultivo. Las concentraciones de cobre en hoja y peciolo en la única fecha considerada no están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por los tratamientos de fertilización orgánica y mineral.

Tabla 5.52.- Concentraciones medias de cobre (mg kg⁻¹) en hojas y peciolo para la fecha 06/07/98 y tratamientos estudiados (O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Cobre (mg kg ⁻¹) en hoja y peciolo	
	06/07/1998	
	Hoja	Peciolo
Control	11,9	12,5
O1M1	31,5	15,6
O1M2	18,0	22,5
O1M3	11,6	14,2
O2M1	15,5	17,0
O2M2	11,9	37,1
O2M3	34,6	15,3
O3M1	16,7	26,7
O3M2	12,1	15,7
O3M3	13,8	10,3
O	14,5	20,5
M	10,1	11,6

Cinc en hoja y peciolo

El rango de concentración de cinc en hoja está entre 2 y 144 mg kg⁻¹, siendo similar a los valores obtenidos por Gupta *et al.* (1995), que oscilan entre 10 y 315 mg kg⁻¹ (estos autores trabajan con la variedad Russet Burbank). Sin embargo, para diversos autores los valores óptimos serían inferiores. Así Walworth y Muniz (1993) consideran adecuadas concentraciones entre 20 y 70 mg kg⁻¹, Bergmann y Bergmann (1985) consideran valores normales entre 20 y 80 ppm y Locascio y Rhue (1990) determinan concentraciones de 40 a 60 ppm en plantas bien provistas. Por lo tanto, en el presente estudio, salvo en algún tratamiento, los valores se encuentran por encima de estos intervalos en el año 1998, y dentro de los mismos al inicio de la tuberización en los años 1999 y 2000 (Tabla 5.53). Estos valores no se pueden considerar tóxicos, de acuerdo con Trehan y Grewal (1984), que consideran como tales concentraciones que excedan de 450 mg kg⁻¹, valor que no se alcanza en ninguna de las parcelas del presente estudio.

Tabla 5.53.- Concentraciones medias de cinc (mg kg⁻¹) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Tratamiento	Cinc (mg kg ⁻¹) en hoja										
	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	88	84	72	41	16	19	22	28	12	3	27
O1M1	104	85	71	59	19	33	27	39	15	2	22
O1M2	119	98	78	44	18	30	35	32	13	3	34
O1M3	85	85	71	61	22	31	35	34	16	3	25
O2M1	99	92	70	54	15	26	24	36	16	3	36
O2M2	100	89	71	52	54	28	28	35	17	8	32
O2M3	144	91	85	65	17	23	24	43	25	8	28
O3M1	96	91	71	48	25	27	25	39	19	4	34
O3M2	105	90	74	72	17	24	24	36	19	8	28
O3M3	103	90	72	62	18	22	21	45	22	6	29
O	113	84	71	53	23	19	21	35	17	4	28
M	106	91	67	66	16	22	35	31	22	3	26

Las concentraciones de cinc en peciolo varían en un rango de 2 a 135 mg kg⁻¹ entre las fechas de los distintos años (Tabla 5.54). En el año 1998 todos los valores obtenidos son superiores a los considerados por Holm y Nylund (1978a y b; citado por Lema, 1996) como normales (de 10 a 80 ppm, que descienden a lo largo del ciclo del cultivo). Son superiores a los 10-20 mg kg⁻¹ para 50-60 d.d.p. (tuberización) considerados normales por Bergmann y Bergmann (1985) en los tres años de muestreo, salvo algún tratamiento, y estarían dentro del rango considerado como normal (21-150 mg kg⁻¹) al final del ciclo por Walworth y Muniz (1993). Por otra parte, las presentes concentraciones de cinc en peciolo están muy lejos de

ser tóxicas, puesto que Boawn y Leggett (1964) detectan síntomas de toxicidad a niveles de 648 a 932 ppm (trabajando con la variedad Russet Burbank), y Walworth y Muniz (1993) consideran como tóxicos valores superiores a 150 ppm para la misma variedad.

Tabla 5.54.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Cinc (mg kg^{-1}) en peciolo											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	94	92	118	41	30	24	26	27	9	2	28
O1M1	81	89	122	46	20	28	29	38	21	16	38
O1M2	129	90	93	35	18	28	22	33	21	14	24
O1M3	98	88	128	36	19	27	17	38	27	19	23
O2M1	90	86	116	44	26	20	24	31	22	20	37
O2M2	106	89	131	37	23	23	21	35	23	14	23
O2M3	106	89	111	12	23	25	16	48	23	24	39
O3M1	104	91	88	54	29	30	26	35	22	17	31
O3M2	109	98	89	42	24	31	24	35	15	19	26
O3M3	104	97	92	45	21	22	29	56	21	14	21
O	94	82	121	36	22	17	31	45	12	11	25
M	95	87	135	46	21	28	27	42	19	19	29

Las concentraciones de cinc en hoja están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, estando las concentraciones en peciolo influidas por el año y la fecha. En ambos casos se observa interacción año x fecha.

La concentración de cinc en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 1998 que en 1999 y 2000 (Figura 5.49). Comparando las fechas de inicio de tuberización, la variación es $1998 > 1999 > 2000$. Esto no coincide con los datos obtenidos para el Zn disponible en el suelo cuyas concentraciones eran significativamente más elevadas en el año 2000, lo que se puede atribuir a un efecto de dilución.

Al analizar la influencia de la dosis de fertilización orgánica, las concentraciones de cinc en hoja significativamente ($p < 0,05$) más elevadas corresponden a la dosis de gallinaza O2, diferente del control. En cuanto al tratamiento de fertilización mineral, las concentraciones de cinc en hoja significativamente ($p < 0,05$) más elevadas corresponden a los tratamientos que incorporan fósforo mineral, M2 y M3, diferentes del control en los tres años de estudio, si bien estas diferencias son siempre pequeñas.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de cinc en hoja y peciolo en los tres años de estudio están influenciadas ($p < 0,05$)

significativamente por la fecha de muestreo (Figura 5.49). La concentración de cinc va descendiendo a lo largo del ciclo en los tres años, tanto en hoja como en peciolo, teniendo un ligero ascenso al final del ciclo en algún año. Este descenso parece indicar una traslocación de este micronutriente al tubérculo. Trehan y Grewal (1984) observaron también este descenso en las concentraciones de cinc en hoja a lo largo del ciclo (variedad Kufri Chandramukhi), por el contrario Maier *et al.* (2002) observaron incrementos en las concentraciones de cinc en hoja a lo largo del ciclo.

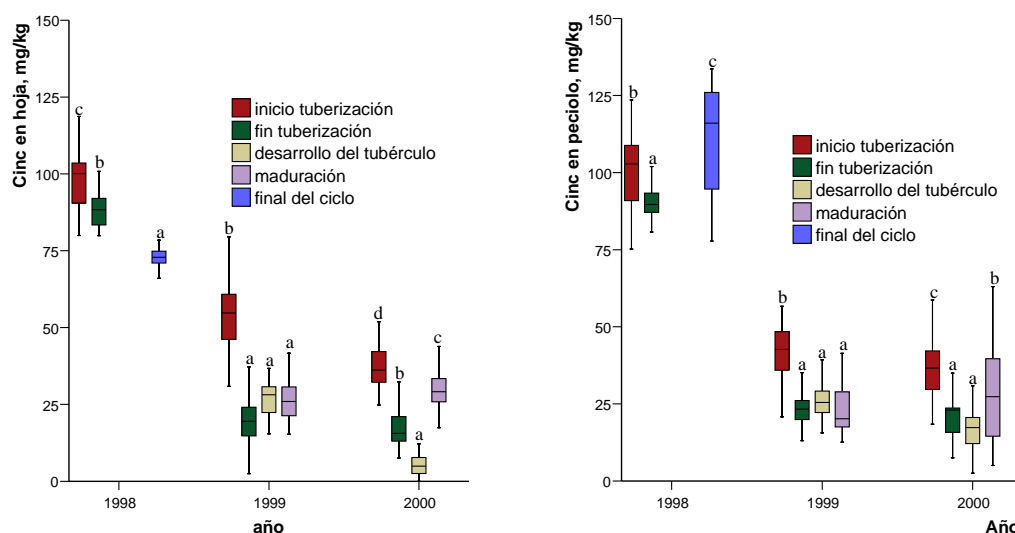


Figura 5.49. Concentración de cinc en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo

En los tres años de estudio la concentración de cinc en hoja en el tratamiento M es significativamente mayor que en el control, mientras no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos M y O en peciolo.

Las concentraciones de Zn en hoja y peciolo se correlacionan significativamente ($p < 0,01$; $r = 0,822$) entre sí. Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros para un nivel de significación de 0,01 (Tabla 5.55). Las correlaciones significativas negativas de Zn con el pH y el Mg de cambio del suelo se relacionan con la mayor solubilidad del Zn a pH ácido. Sorprendentemente, las concentraciones de cinc en hoja y peciolo presentan correlaciones positivas con las concentraciones de fósforo en estos órganos así como con la concentración de fósforo Olsen en el suelo, a pesar de la ya comentada correlación negativa entre cinc asimilable y fósforo asimilable en el suelo. Esta correlación positiva podría atribuirse al origen común de ambos elementos en el abono orgánico o bien a la influencia del P en la mineralización de la materia orgánica.

Tabla 5.55.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Cinc en hoja	Cinc en peciolo
% Carbono en peciolo	0,724**	0,745**
% Nitrógeno en hoja	0,805**	0,752**
% Nitrógeno en peciolo	0,682**	0,640**
Fósforo en hoja	0,502**	0,380**
Fósforo en peciolo	0,371**	0,338**
Calcio en hoja	0,248**	0,368**
Manganeso en hoja	0,400**	0,536**
pH en KCl en suelo	-0,255**	-0,289**
Fósforo Olsen en suelo	0,206**	0,192**
Magnesio de cambio en suelo	-0,702**	-0,735**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Hierro en hoja y peciolo

Las concentraciones de hierro en hoja oscilan entre los 75 y 1586 mg kg⁻¹ (Tabla 5.56). Estas son mayores que las obtenidas por investigadores como Gupta *et al.* (1995), que obtiene un rango comprendido entre 72 y 364 mg kg⁻¹ (trabajando con la variedad Russet Burbank) o que las normales de 75-150 mg kg⁻¹ propuestas por Westermann (1990), a media estación. Sin embargo, las concentraciones de hierro en este ensayo, aunque muy elevadas, no podrían considerarse tóxicas en 1998 y 1999 pero sí en 2000, año en que se superan los 500 mg kg⁻¹, valor por encima del cual existen riesgos de toxicidad según Kabata-Pendias y Pendias (2001) y Walworth y Muniz (1993). Sin embargo, como se verá en el capítulo correspondiente, es en el año 2000 cuando se obtiene la mayor producción de tubérculo.

Al igual que sucede con la hoja, las concentraciones de hierro en peciolo son muy elevadas durante todo el ciclo, obteniéndose valores entre 29 y 908 mg kg⁻¹ entre todas las fechas muestreadas (Tabla 5.57). Holm y Nylund (1978a y b; citado por Lema, 1996) determina concentraciones que varían durante el ciclo de cultivo, pero que en ningún caso superan los 200 ppm. Sin embargo, Walworth y Muniz (1993) proponen como normales unas concentraciones comprendidas entre 11 y 300 mg kg⁻¹ a media estación.

Tabla 5.56.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Hierro (mg kg^{-1}) en hoja											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	284	333	466	276	93	202	180	826	648	1168	1544
O1M1	306	330	589	160	94	103	176	1290	1083	1113	1586
O1M2	377	370	426	179	177	86	192	946	742	802	1505
O1M3	271	300	467	192	120	150	147	869	661	808	1175
O2M1	255	404	391	198	97	149	136	841	828	1114	1716
O2M2	354	323	433	179	103	93	146	1157	948	1294	1510
O2M3	338	433	415	177	93	131	136	823	728	1084	1051
O3M1	318	329	357	157	106	125	140	950	917	976	1568
O3M2	276	322	334	156	80	149	126	713	594	796	1126
O3M3	263	315	363	192	84	132	105	766	689	720	817
O	282	348	374	179	100	142	131	739	831	796	1401
M	252	375	453	185	75	120	176	830	933	752	907

Tabla 5.57.- Concentraciones medias de hierro (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Hierro (mg kg^{-1}) en peciolo											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	247	228	278	155	47	100	79	522	553	886	702
O1M1	207	203	371	91	53	58	83	594	413	880	494
O1M2	261	249	405	75	55	76	57	554	597	836	337
O1M3	200	221	329	79	51	87	45	459	421	645	321
O2M1	203	208	225	88	49	90	50	457	555	638	357
O2M2	222	207	314	74	46	84	78	618	559	839	448
O2M3	171	195	405	85	38	57	75	413	442	675	363
O3M1	255	257	396	91	35	66	47	382	346	616	471
O3M2	288	327	324	72	34	54	84	440	301	623	372
O3M3	177	220	390	77	29	66	66	518	250	486	390
O	212	215	301	70	64	64	61	908	447	548	503
M	216	215	384	100	39	74	80	422	324	595	424

Las concentraciones de hierro en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año \times fecha, año \times dosis de fertilización orgánica y año \times tratamiento de fertilización mineral.

La concentración de hierro en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 2000 que en 1998 y 1999. Comparando las fechas de inicio de la tuberización, la variación es $2000 > 1998 > 1999$. Estas diferencias se relacionan con los valores de pH del suelo, mayores en 1999 y menores en 2000.

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de hierro en hoja y peciolo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha de

muestreo en los tres años de estudio y por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral en los años 1999 y 2000. La concentración de hierro en hoja en los años 1998 y 2000 y la concentración en peciolo en 1998 se incrementa de forma estadísticamente significativa ($p<0,05$) a lo largo del ciclo (Figura 5.50). También Maier *et al.* (2002) observaron incrementos en las concentraciones de hierro en hoja a lo largo del ciclo.

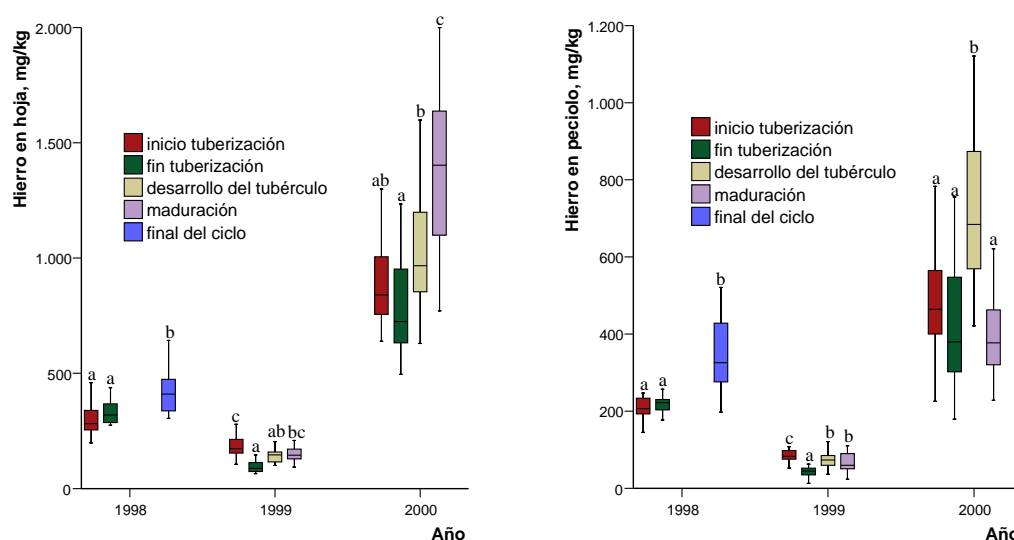


Figura 5.50.- Concentración de hierro en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo

En los años 1999 y 2000, las parcelas control presentan las mayores concentraciones de hierro en hoja y peciolo, significativamente ($p<0,05$) distintas de la dosis de fertilización orgánica O3 y del tratamiento de fertilización mineral M3. Las menores concentraciones en los tratamientos O3 y M3 se relacionan con un efecto de dilución asociado a un mayor crecimiento vegetativo.

En los tres años de estudio el control presenta mayores concentraciones de hierro en peciolo que los tratamientos M y O, mientras que no se encuentran diferencias significativas ($p<0,05$) para la concentración de hierro en hoja.

Las concentraciones de Fe en hoja y peciolo se correlacionan entre sí de forma altamente significativa ($p<0,01$; $r=0,724$). Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros para un nivel de significación de 0,01 (Tabla 5.58). Algunos autores señalan que elevadas concentraciones de P en el suelo pueden provocar un descenso de la concentración de Fe en los tejidos vegetales (Moraghan y Mascagni, 1991). En este caso no se observa esa

interferencia sino que parece existir una sinergia entre ambos elementos; la explicación podría ser la misma señalada en el caso del cinc.

Tabla 5.58.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Hierro en hoja	Hierro en peciolo
% Carbono en hoja	-0,639**	-0,496**
% Nitrógeno en hoja	-0,440**	
% Nitrógeno en peciolo	-0,530**	-0,272**
Fósforo en peciolo	0,190**	0,301**
Potasio en peciolo	-0,225**	-0,333**
Manganeso en hoja	0,187**	0,144**
pH suelo en agua	-0,308**	-0,269**
Fósforo Mehlich 3 en suelo	0,687**	0,632**
Hierro disponible (Mehlich 3) en suelo	0,420**	0,473**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Manganeso en hoja y peciolo

La concentración de manganeso varía entre 124 y 1000 mg kg⁻¹ de materia seca entre las fechas muestreadas. Los valores obtenidos son similares a los obtenidos por Gupta *et al.* (1995), que citan un rango de 107 a 1476 mg kg⁻¹ (trabajando con la variedad Russet Burbank), pero están por encima del rango considerado normal por Westermann (1990) a media estación (30 - 50 mg kg⁻¹). Lema encuentra en Bergantiños concentraciones de manganeso en hoja de patata entre 200 y 400 mg kg⁻¹, valores comparables o inferiores a los del presente estudio.

Walworth y Muniz (1993) y Kabata-Pendias y Pendias (2001) consideran como tóxicos niveles de 300 mg kg⁻¹. Por lo tanto, indicarían toxicidad las concentraciones en hojas en algunos tratamientos en 1998 y 2000 (Tabla 5.59). Sin embargo, no se observan síntomas de esta toxicidad.

La concentración de manganeso en el peciolo es inferior a la obtenida para las hojas, estando los valores comprendidos entre 78 y 904 mg kg⁻¹ (Tabla 5.60). Estos valores son similares a los obtenidos por Holm y Nylund (1978a y b; citado por Lema, 1996). Sin embargo, para el 08/09/98 las concentraciones superan las de este autor, y las citadas por Walworth y Muniz (1993). Lema encuentra en Bergantiños concentraciones de manganeso en peciolo de patata entre menos de 100 y 300 mg kg⁻¹, valores también comparables o inferiores a los del presente estudio.

Se afirma que el exceso de hierro causa descenso en la absorción de manganeso (Cinelli *et al.*, 2004), citándose como valores adecuados para la relación hierro/manganeso en hoja y peciolo los inferiores a 18 (Lema, 1996). En el presente estudio, esta relación se mantiene muy por debajo de 18, por lo tanto no cabe esperar deficiencia de manganeso y, de hecho, como se menciona en el párrafo anterior, las concentraciones de manganeso son muy elevadas.

Tabla 5.59.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Manganeso (mg kg^{-1}) en hoja											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	317	337	505	232	156	204	287	262	215	206	291
O1M1	288	348	465	257	149	253	298	404	345	343	471
O1M2	614	579	1000	268	135	208	318	316	250	183	407
O1M3	455	453	916	304	166	217	334	376	327	311	467
O2M1	198	280	264	239	153	203	296	326	351	290	516
O2M2	441	472	645	224	163	233	277	343	286	271	395
O2M3	482	434	649	280	148	265	267	422	420	399	538
O3M1	434	422	628	224	124	217	280	345	300	252	442
O3M2	509	503	764	245	177	290	333	307	252	250	399
O3M3	428	478	748	248	162	208	313	404	359	272	401
O	168	182	309	211	136	163	269	285	236	193	334
M	412	354	494	343	228	342	343	320	377	265	442

Tabla 5.60.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas y tratamientos estudiados de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación, O = abonado orgánico, M = fertilización mineral)

Manganeso (mg kg^{-1}) en peciolo											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	53 ddp	67 ddp	117 ddp	55 ddp	70 ddp	83 ddp	97 ddp	45 ddp	59 ddp	73 ddp	86 ddp
	06/07	20/07	08/09	14/06	29/06	12/07	26/07	30/06	14/07	28/07	10/08
Control	170	242	451	129	83	124	155	159	128	146	243
O1M1	141	246	478	130	93	133	189	219	231	333	358
O1M2	361	408	904	131	78	106	153	151	205	220	256
O1M3	210	332	868	146	97	132	180	204	203	258	347
O2M1	99	150	196	119	94	124	174	172	218	259	383
O2M2	227	270	483	103	106	127	168	173	231	216	264
O2M3	200	229	658	123	86	144	166	234	239	314	449
O3M1	229	246	303	118	79	122	149	159	150	192	298
O3M2	247	263	611	121	105	146	214	149	134	252	267
O3M3	190	240	624	122	96	103	203	210	161	205	218
O	87	99	228	95	81	90	151	152	121	148	208
M	217	242	492	186	146	220	234	184	219	232	341

Las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x fecha, año x dosis de fertilización orgánica y año x tratamiento de fertilización mineral.

La concentración de manganeso en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000. Considerando las fechas de inicio de tuberización, estas concentraciones son significativamente menores en 1999 que en 1998 y 2000.

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo están influenciadas ($p<0,05$) significativamente por la fecha de muestreo en los tres años de estudio y por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral en los años 1998 y 2000.

En cuanto a la fecha, se observa generalmente en peciolo un aumento de la concentración a medida que avanza el ciclo vegetativo, siendo la tendencia menos consistente en hoja (Figura 5.51). Maier *et al.*, (2002) observaron incrementos en las concentraciones de manganeso en hoja a lo largo del ciclo. Holm y Nylund (1978a y b) y Manrique y Uehara (1984a y b) (ambos citados por Lema, 1996) coinciden en señalar un incremento progresivo del citado elemento en peciolo.

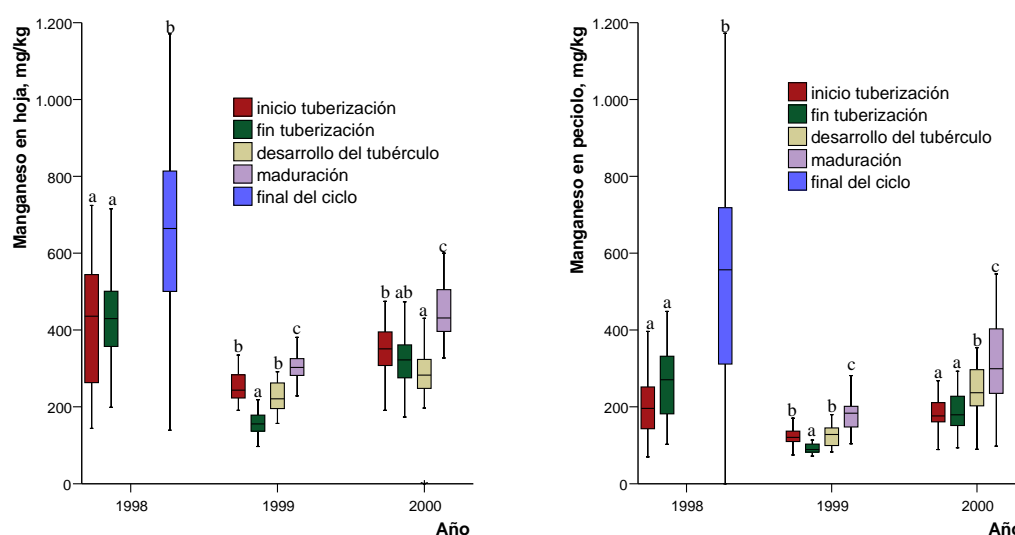


Figura 5.51. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de la fecha de muestreo

Las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo son significativamente ($p<0,05$) más elevadas con las dosis más bajas de gallinaza que se combinan con fertilización mineral, es decir, O1, diferentes del control en 1998 y 2000. En cuanto al tratamiento de fertilización mineral, las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo son significativamente ($p<0,05$) más elevadas con los tratamientos que incorporan fósforo (M3 y M2) en 1998 y 2000.

En los tres años de estudio el tratamiento M da lugar a concentraciones de manganeso en hoja significativamente ($p<0,05$) mayores que el tratamiento O y el control,

mientras que para la concentración de manganeso en peciolo el tratamiento M da lugar a valores significativamente ($p < 0,05$) mayores que el tratamiento O.

Con frecuencia se encuentra que la concentración de manganeso en hoja se incrementa con la acidez del suelo y la fertilización mineral (Warman y Fairchild, 1983). Los resultados del presente estudio están de acuerdo con esas tendencias.

Las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo presentan una correlación altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,864$) entre sí. Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros para un nivel de significación de 0,01 (Tabla 5.61).

Tabla 5.61.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Manganeso en hoja	Manganeso en peciolo
% Carbono en hoja	-0,229**	-0,300**
Potasio en peciolo	-0,146**	-0,241**
Calcio en hoja	0,330**	0,333**
Calcio en peciolo	0,379**	0,431**
Magnesio en hoja	-0,308**	-0,298**
Magnesio en peciolo	-0,287**	-0,210**
Hierro en hoja	0,187**	0,212**
Hierro en peciolo	0,144**	0,262**
pH agua en suelo	-0,307**	-0,333**
pH en KCl en suelo	-0,420**	-0,442**
Fósforo Mehlich 3 en suelo	0,426**	0,349**
Calcio de cambio en suelo	-0,276**	-0,400**
Magnesio de cambio en suelo	-0,452**	-0,450**
Potasio de cambio en suelo		-0,186**
Manganeso disponible (Mehlich 3) en suelo	0,384**	0,312**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Se encuentran correlaciones significativas positivas entre las concentraciones de manganeso en hoja y en peciolo y las concentraciones de hierro en estos órganos (Tabla 5.61), a pesar del mencionado antagonismo entre estos dos micronutrientes. Estas correlaciones podrían deberse a que estos dos oligoelementos son aportados conjuntamente al suelo con la gallinaza o con fertilizantes inorgánicos o bien a que ambos son más asimilables a pHs bajos. Las correlaciones negativas de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con el calcio y el magnesio de cambio en el suelo están de acuerdo con los resultados de otros autores como Harrison *et al.* (1982). Este efecto antagónico entre calcio y magnesio, por una parte, y manganeso por otra ha sido señalado para otros cultivos por numerosos autores (Cenni *et al.*, 1998; De Varennes *et al.*, 2001; Quartin *et al.*, 2001; Kabata-Pendias y Pendias, 2001).

5.2.3. Tubérculo

Rendimiento total y Rendimiento comercial

El rendimiento de patata en este ensayo varía para los distintos años y tratamientos entre 31,7 y 64,3 t ha⁻¹ (Tabla 5.62).

Tabla 5.62.- Rendimientos medios totales y comerciales para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Rendimiento total (t ha ⁻¹)			Rendimiento comercial (t ha ⁻¹)		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Control	31,7	35,3	39,1	30,9	33,0	38,0
O1M1	40,2	45,0	48,7	39,7	42,9	45,8
O1M2	38,0	44,4	52,5	36,8	40,7	47,4
O1M3	48,9	44,6	57,3	48,3	41,3	53,9
O2M1	44,8	49,1	53,6	43,3	43,6	50,0
O2M2	40,7	55,1	57,5	40,1	49,1	52,8
O2M3	43,7	61,5	64,3	43,1	54,0	57,8
O3M1	36,9	49,6	60,1	28,9	43,9	52,1
O3M2	37,5	53,1	58,2	37,0	46,6	49,3
O3M3	42,6	54,9	64,1	41,8	49,8	55,1
O	50,4	50,7	56,2	50,0	45,7	48,2
M	39,8	45,1	55,8	39,7	41,9	48,6

Los valores de rendimiento total están influenciados significativamente por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$), habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$).

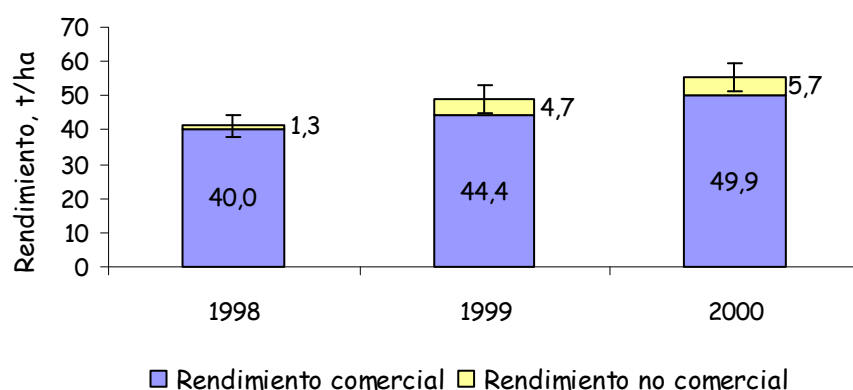


Figura 5.52. Rendimiento medio total y comercial en los tres años de ensayo

El rendimiento aumenta desde el año 1998 hasta el 2000 (Figura 5.52), siendo cada uno de estos años significativamente diferente de los otros dos (valores medios de 41,3 en 1998, 49,0 en 1999 y 55,6 t ha⁻¹ en 2000). Las diferencias de temperatura y precipitación entre los tres años no parecen explicar estas diferencias en el rendimiento, que deben, por tanto, atribuirse a desequilibrios nutricionales en el suelo de la parcela utilizada en 1998, particularmente déficits relativos de Ca y Mg provocados por el exceso de K.

El rendimiento en las parcelas control es significativamente menor que en las parcelas que recibieron fertilización orgánica y mineral combinadas, aumentando en el orden: control < M1 < M2 < M3 (Figura 5.53b), si bien las diferencias entre M1 y M2 no son significativas ($p < 0,05$). Se observa, por tanto, una respuesta a la aplicación de nitrógeno junto con la fertilización orgánica.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que el rendimiento está influenciado significativamente por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre ambos factores, en los tres años de estudio.

En cuanto a la influencia de la dosis de abonado orgánico, la tendencia general es al aumento del rendimiento al aumentar dicha dosis (Figura 5.53a), siendo en los tres años significativamente ($p < 0,05$) menor en el control que en los restantes tratamientos. La respuesta positiva a la fertilización orgánica coincide con los resultados de otros autores, como Taja y van der Zaag (1991) o Kolbe *et al.* (1995b). Asimismo la producción de las parcelas control es significativamente ($p < 0,05$) menor que la de los tratamientos O y M, que no se diferencian significativamente entre sí.

El rendimiento comercial en este ensayo varía entre 28,9 y 57,8 t ha⁻¹ (Tabla 5.62). El rendimiento de calibre comercial (40 a 80 mm) está influido significativamente, lo mismo que el rendimiento total, por el año de ensayo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral ($p < 0,05$), habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica ($p < 0,05$). La diferencia entre la producción total y la comercial corresponde a tubérculos de tamaño superior a 80 mm, no produciéndose prácticamente tubérculos de tamaño inferior a 40 mm.

El rendimiento comercial, lo mismo que el total, es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 2000 que en 1999 y en éste mayor que en 1998.

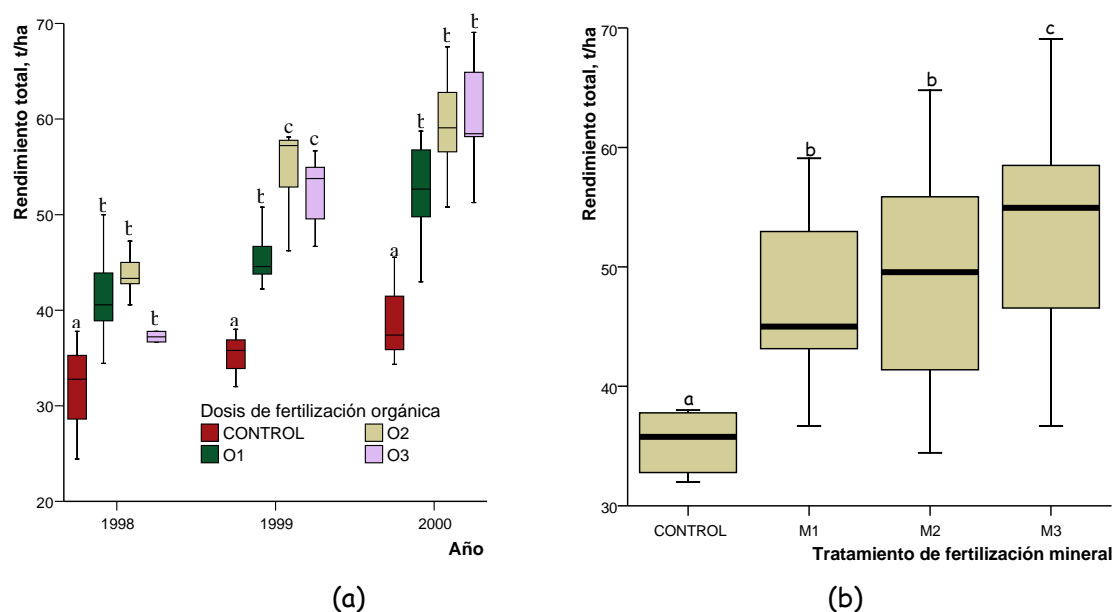


Figura 5.53.- Rendimiento total en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y rendimiento total en función del tratamiento de fertilización mineral (b)

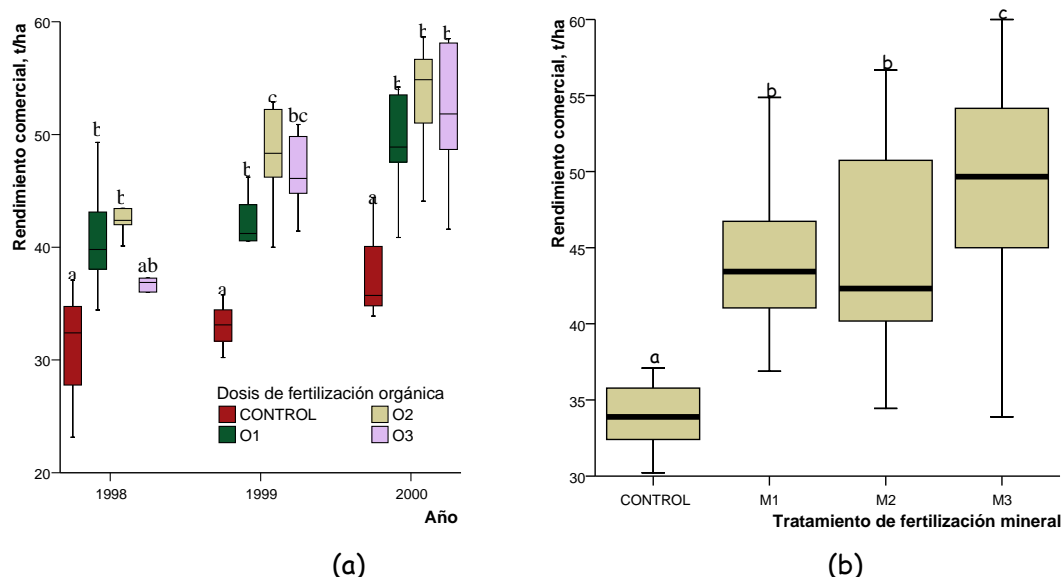


Figura 5.54.- Rendimiento comercial en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y rendimiento comercial en función del tratamiento de fertilización mineral (b)

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que el rendimiento comercial está influenciado significativamente por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre ambos factores. La influencia de la fertilización orgánica y mineral sobre el rendimiento comercial es la misma que sobre el rendimiento total (Figura 5.54a y b).

La producción no comercial (>80 mm), tanto en valor absoluto como en porcentaje, es significativamente mayor en 1999 y 2000 que en 1998 (Figura 5.55a). En 1998 la menor producción total coincide con una menor producción de tubérculos grandes. La producción

no comercial aumenta significativamente con la dosis de fertilización orgánica (Figura 5.55b) y no está afectada por el tratamiento de fertilización mineral. Errebhi *et al.* (1998) observan un incremento de la producción no comercial (en este caso, tubérculos de pequeño tamaño) de *Solanum tuberosum* L., cv. Russet Burbank, con la cantidad de nitrógeno aplicado (y un descenso de los tubérculos de tamaño grande).

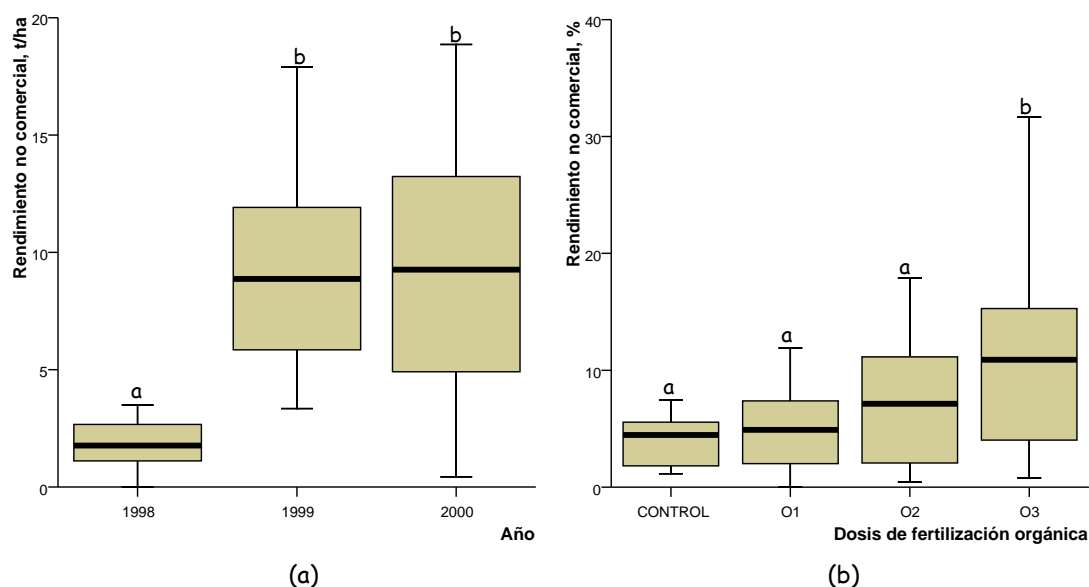


Figura 5.55. Porcentaje de producción no comercial (> 80 mm) en función del año (a) y de la dosis de gallinaza (b)

En los tres años de ensayo el rendimiento presentó correlaciones significativas con diversos parámetros del suelo en el momento de la emergencia (Tabla 5.63), correlaciones que difieren de un año a otro. Estas diferencias deben atribuirse a la diferente composición del suelo inicial utilizado en el ensayo. En 1998 el rendimiento está directamente relacionado con el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_e), las concentraciones de Ca y Mg de cambio y las relaciones Ca/K y Mg/K. El suelo utilizado en el ensayo en 1998 presenta inicialmente una capacidad de intercambio catiónico efectiva extremadamente baja, 4 cmol_c kg⁻¹, límite del *modificador e* (baja capacidad de intercambio catiónico) de Sánchez *et al.* (1982); esta baja capacidad de intercambio catiónico explica la correlación positiva del rendimiento de la cosecha con el citado parámetro. La correlación altamente significativa entre rendimiento y Ca de cambio en 1998 no deja de sorprender, dado que la patata no es un cultivo muy exigente en Ca (van Lierop *et al.*, 1982). Si bien algunos autores (Silva *et al.*, 1987; Simmons *et al.*, 1988) encontraron una respuesta positiva del cultivo de patata a la aplicación de calcio en diversas formas en suelos ácidos, son más frecuentes los estudios que ponen de manifiesto la ausencia de respuesta a este elemento (Gupta y Sanderson, 1993; Clough, 1994; Maier

et al., 2002; Ozgen *et al.*, 2006) o incluso una depresión del rendimiento con el encalado (Maier *et al.*, 2002). La respuesta positiva a mayores concentraciones de calcio en ese año puede relacionarse con la competencia entre calcio y potasio, ya que la relación Ca/K en el suelo inicial utilizado en 1998 es muy baja (2,3); la aplicación de fertilización potásica agrava esta situación. Por otra parte, la respuesta positiva a mayores concentraciones de calcio podría reflejar, al menos en parte, la correlación entre el calcio de cambio y la CIC_e ($r=0,769$, $p<0,0001$). Dado que los valores de pH ($pH\ H_2O = 5,4$; $pH\ KCl = 4,8$) pueden considerarse adecuados para el cultivo de patata, la correlación positiva del rendimiento con el pH se justifica por las relaciones directas entre pH y calcio de cambio ($r=0,797$, $p<0,0001$, para pH en KCl) y entre pH y CIC_e ($r=0,577$, $p=0,0004$, para pH en KCl).

Por el contrario, en 1999, en que la relación Ca/K del suelo inicial es relativamente alta (8,7), se observa una correlación negativa entre esta relación y el rendimiento del cultivo. Esta correlación no deja de sorprender, ya que el valor de 8,7 para la relación Ca/K parece adecuado. El hecho de que el cultivo de patata sea muy exigente en potasio y poco exigente en calcio podría explicar esta situación.

Sorprendentemente, en 1999 y 2000 se observa una correlación positiva entre rendimiento y fósforo asimilable (Mehlich 3), a pesar de los elevados valores de este parámetro. Asimismo en estos dos años el rendimiento presenta correlaciones significativas con el potasio de cambio.

En 1999 se encuentra también una correlación positiva con la concentración de nitrato, que en este año presenta los valores más bajos en el suelo inicial ($7,2\ mg\ N\ kg^{-1}$, equivalentes a unos $36\ kg\ N\ ha^{-1}$).

En 2000, además de con el K y el P asimilable, se encuentra una correlación significativa del rendimiento con el Zn asimilable (Mehlich 3). La patata es clasificada por Alloway (2004) como un cultivo con sensibilidad media a la deficiencia de cinc. La deficiencia de este elemento es común en plantas que crecen en suelos con restricciones para la penetración de las raíces, como la presencia de suela de labor o capa freática próxima a la superficie (Alloway, 2004). Esta puede ser la razón de la respuesta positiva al aporte de cinc, a pesar de que la concentración de este elemento en la capa arable se encuentra dentro del rango considerado en la bibliografía como suficiente.

Tabla 5.63.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de rendimiento total con distintos parámetros del suelo (en la emergencia), de hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) y del tubérculo en los tres años de estudio

	1998	1999	2000
pH en agua	0,334*		
pH en KCl	0,477**		
P Olsen			0,419*
P Mehlich 3		0,416*	0,378*
Calcio de cambio	0,472**		
Magnesio de cambio	0,345*		
Potasio de cambio		0,344*	0,390*
CIC efectiva	0,381*		
Relación Ca/K	0,390*	-0,525**	
Relación K/Mg	-0,374*		
Nitrato		0,370*	
Cinc Mehlich 3			0,510**
Nitrógeno en hoja			0,613**
Fósforo en hoja			0,460**
Potasio en hoja			0,696**
Potasio en peciolo			0,510**
Hierro en peciolo			-0,344*
Manganeso en hoja			0,421*
Cinc en hoja			0,498**
Cinc en peciolo	-0,329*		0,374*
Nitrógeno en tubérculo			0,591**
Fósforo en tubérculo			0,408*
Cinc en tubérculo	-0,560**		

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Se encontraron también correlaciones significativas del rendimiento con las concentraciones de diversos nutrientes en hojas y peciolos al final del ciclo vegetativo así como con concentraciones en tubérculos, particularmente en el año 2000, el de mayor producción (Tabla 5.63). Estas correlaciones son en general positivas en 2000, mientras en 1998 se encontraron correlaciones negativas del rendimiento con las concentraciones de Zn en peciolo y tubérculo; estas correlaciones negativas se asocian con la mayor asimilabilidad del Zn a pH ácido, que, como se ha visto, produce rendimientos significativamente menores en 1998.

Los valores de rendimiento total y rendimiento comercial se correlacionan significativamente ($p < 0,01$, $r = 0,944$) entre sí.

Mediante un método de regresión lineal por pasos sucesivos, se obtienen las siguientes estimaciones del rendimiento en función de los parámetros del suelo y de los parámetros de la vegetación, para los tres años de estudio por separado y para los tres años juntos (Tabla 5.64):

Tabla 5.64. Estimación del rendimiento ($t\ ha^{-1}$) con distintos parámetros del suelo y vegetación

Año	Suelo	R^2
	Ecuación	
1998	$R = 1,450 + 8,519 \times pH\ en\ KCl$	0,228
1999	$R = 58,635 - 2,137 \times Ca/K$	0,276
2000	$R = 29,445 + 2,100 \times Zn + 0,228 \times NH_4 + 9,118 \times K$	0,454
Los tres años	$R = 37,229 + 0,077 \times P - 2,565 \times K/Mg - 0,964 \times Ca/K$	0,473
Año	Vegetación	R^2
	Ecuación	
1998	$R = 64,770 - 0,262 \times Zn\ en\ peciolo$	0,108
2000	$R = 26,970 + 0,315 \times K\ en\ hoja + 4,283 \times N\ en\ hoja$	0,672
Los tres años	$R = 33,738 - 0,255 \times Zn\ en\ peciolo + 0,295 \times K\ en\ hoja + 2,521 \times N\ en\ hoja + 0,006 \times Fe\ en\ hoja$	0,544

Suelo: Ca/K = relación Ca/K ; Zn = Zn disponible (extraído con Mehlich 3); K = potasio de cambio, P = Fósforo asimilable (extraíble con Mehlich 3) y K/Mg = relación K/Mg

Suelo (en la emergencia); hoja y peciolo (en el fin de la tuberización)

Estas ecuaciones permiten, en primer lugar, identificar la importancia de cada variable en la determinación del rendimiento en cada uno de los años de ensayo. Por otro lado, permiten identificar un año, el 2000, en que algunas variables relacionadas con la fertilización fueron determinantes de un alto rendimiento. Por el contrario, en 1998 la baja explicación de la varianza por estas variables puede indicar la influencia de otros factores en la producción de tubérculo, por ejemplo factores relacionados con el clima.

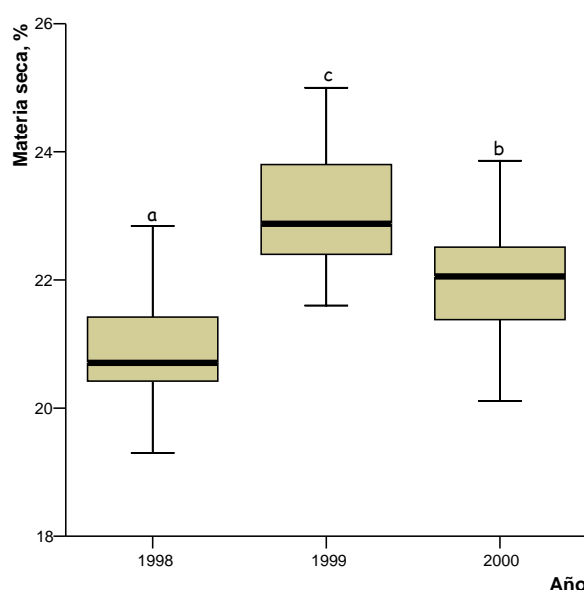
Materia seca

Tabla 5.65.- Materia seca en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Materia seca, %		
	1998	1999	2000
Control	21,9	24,9	22,6
O1M1	20,3	24,8	21,9
O1M2	21,6	22,9	23,0
O1M3	19,4	23,7	22,1
O2M1	19,9	23,1	21,9
O2M2	20,6	22,6	22,6
O2M3	21,2	22,4	22,3
O3M1	20,8	23,2	21,5
O3M2	21,3	21,9	20,7
O3M3	20,2	22,6	21,4
O	20,3	24,2	22,9
M	21,4	23,4	21,5

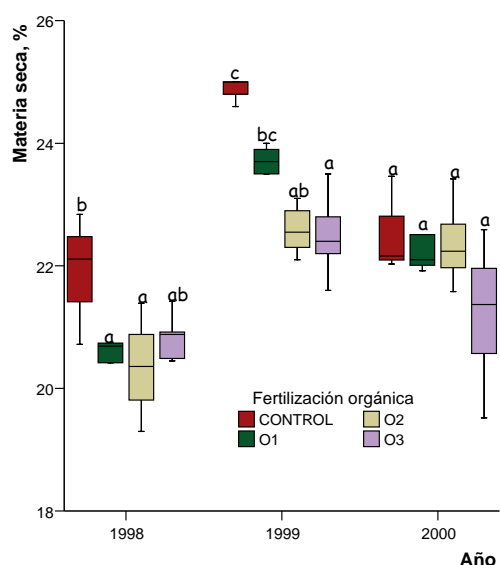
Los porcentajes de materia seca en el tubérculo oscilaron entre 19,4 Y 24,9 % (Tabla 5.65) en los tres años de ensayo. Estos valores son similares a los citados por Leszczynski y Lisinska (1988) para catorce variedades de patata y, con excepción de dos tratamientos en 1998, están dentro del intervalo 20-25%, considerado por Kita (2002) adecuado para la producción de patatas fritas en láminas.

El porcentaje de materia seca está afectado significativamente por el año y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica y año x tratamiento de fertilización mineral.



Los tres años de ensayo dan lugar a porcentajes de materia seca significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximo en el año 1999 (Figura 5.56). En este año la precipitación en el mes de julio, durante el desarrollo de los tubérculos, es muy baja, inferior a la media para el período 1961-1990.

Figura 5.56.- Porcentajes de materia seca en tubérculo para los tres años de estudio



El abonado orgánico combinado con fertilización mineral produce, en general, una disminución de la materia seca del tubérculo (Figura 5.57). El efecto del tratamiento de fertilización mineral no es consistente en los tres años de ensayo. En contraste, Kolbe *et al.* (1995b) encontraron mayores porcentajes de materia seca en el tubérculo producidos por fertilización orgánica.

Figura 5.57.- Porcentajes de materia seca en función de la dosis de fertilización orgánica para los tres años de ensayo

En los tres años de estudio el tratamiento control da lugar a porcentajes de materia seca significativamente ($p < 0,05$) mayores que el tratamiento M.

La fertilización, por tanto, produce una disminución del contenido de materia seca del tubérculo. Estos resultados están de acuerdo con los de Westermann *et al.* (1994a), Reis y Fontes (1996), Allison *et al.* (2001) y Pauletti y Menarin (2004), que observan una disminución de la materia seca al aumentar la fertilización potásica. Karam *et al.* (2005) encontraron que la fertilización potásica producía una disminución de la materia seca en la variedad Spunta y un incremento de este parámetro en las variedades Derby y Shepody. Leszczynski y Lisinska (1988) y Jenkins y Nelson (1992) observaron una reducción del porcentaje de materia seca con el incremento de la dosis de nitrógeno.

El porcentaje de materia seca presenta en los tres años de ensayo correlaciones negativas significativas con el rendimiento del cultivo ($r = -0,569$, $p = 0,0003$ en 1998; $r = -0,622$, $p < 0,0001$ en 1999; $r = -0,379$, $p = 0,023$ en 2000).

Densidad

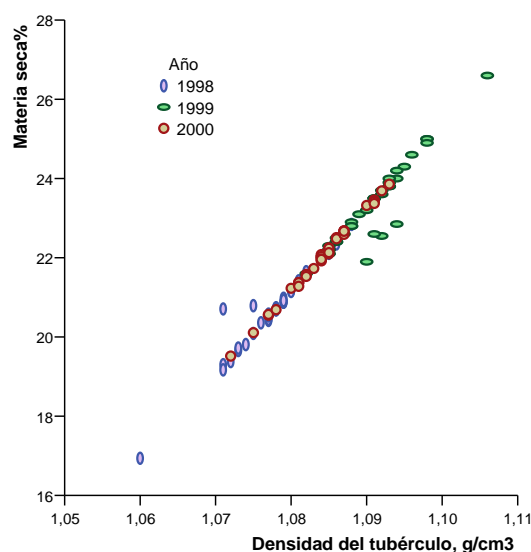
La densidad del tubérculo varía entre 1,047 y 1,088 g cm⁻³ en 1998, entre 1,082 y 1,106 g cm⁻³ en 1999 y entre 1,072 y 1,093 g cm⁻³ en 2000. Valores elevados de la densidad del tubérculo se relacionan con una buena calidad para frito. Borruey *et al.* (2000) recomiendan un valor mínimo de 1,080 para frito en láminas; de acuerdo con este valor umbral, las patatas producidas en este ensayo tienen valores relativamente bajos en 1998 y altos en 1999.

La densidad del tubérculo está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo y la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción entre estos dos factores. Los tres años de ensayo dan lugar a densidades de tubérculo significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo mínimas en el año 1998 y máximas en el año 1999, de acuerdo con el mayor porcentaje de materia seca.

Las mayores densidades de tubérculo corresponden a las parcelas control, observándose, lo mismo que para la materia seca, una tendencia a la disminución de la densidad al aumentar la dosis de abonado orgánico. Otros autores (Dahlenburg *et al.*, 1990; Westermann *et al.*, 1994a; Feibert *et al.*, 1998; Belanger *et al.*, 2002; Sparrow y Chapman, 2003a) observaron un descenso de la densidad del tubérculo con el incremento de la aplicación de nitrógeno, mientras algunos estudios llegan a resultados no consistentes

(Silva *et al.*, 1991b; Maier *et al.*, 1994a). También se encuentran en la bibliografía efectos no consistentes del fósforo (Maier *et al.*, 1989b) y del potasio (Maier *et al.*, 1986) sobre la densidad del tubérculo, si bien la mayoría de los trabajos ponen de manifiesto una disminución de la densidad con la aplicación de potasio (Chapman *et al.*, 1992).

Los valores de densidad son significativamente ($p < 0,05$) mayores en el control que en el tratamiento M, no habiendo diferencias significativas con el tratamiento O.



La densidad del tubérculo se correlaciona significativamente ($p < 0,01$) con el porcentaje de materia seca (Rousselle *et al.* 1999; Figura 5.58). Consecuentemente, la densidad presenta en los tres años de ensayo correlaciones negativas significativas con el rendimiento del cultivo en materia fresca ($r = -0,557$, $p = 0,0004$ en 1998; $r = -0,600$, $p < 0,0001$ en 1999; $r = -0,381$, $p = 0,022$ en 2000).

Figura 5.58.- Correlación entre la materia seca y la densidad para los tres años de ensayo

Composición química

Almidón

El porcentaje de almidón se estima a partir del valor de la densidad mediante la relación (von Schéele *et al.*, 1937):

$$\% \text{ Almidón} = 17,546 + 199,07 \times (\text{densidad} - 1,0988)$$

Sus valores varían entre 10,9 y 18,0 % en los tres años de ensayo.

El porcentaje de almidón, lo mismo que la densidad del tubérculo, está influido significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no observándose interacciones entre estos tres factores. El porcentaje de almidón se encuentra generalmente por debajo del 15%,

considerado el mínimo recomendable para patatas fritas en láminas (Kita, 2002), en 1998, estando por encima de dicho valor en los años 1999 y 2000.

La fertilización orgánica y mineral influyen de la misma forma que en la densidad.

Nitrógeno y Proteína total

Las concentraciones medias de nitrógeno en tubérculo varían entre 0,8 y 1,8% (Tabla 5.66). Estos valores son similares a los encontrados por Warman y Havard (1998) y por Kolbe *et al.* (1995b), los cuales trabajan con las variedades Superior y Grata, respectivamente. Lema (1996) obtiene con cuatro variedades de patata en la comarca de Bergantiños, entre ellas la Kennebec, valores entre 1,1 y 1,9%. Walworth y Muniz (1993) consideran para las variedades Green Mountain y Russet Burbank los valores de 1,78 y 1,38%, respectivamente, como suficientes. Leszczynski y Lisinska (1988), obtienen valores que oscilan entre el 1,59% y el 2,03% para 40 kg ha⁻¹ y 200 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Las concentraciones de proteína total, estimadas a partir de los porcentajes de N, variaron entre 5,2 y 11,1%.

Tabla 5.66.- % Nitrógeno y % Proteína total en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Porcentajes referidos a materia seca					
	% Nitrógeno en tubérculo			% Proteína total en tubérculo		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Control	0,93	1,07	0,95	5,8	6,7	6,5
O1M1	1,05	0,98	0,83	6,6	6,1	5,2
O1M2	1,15	1,25	0,92	7,2	7,4	5,7
O1M3	1,18	1,07	1,19	7,4	6,6	7,5
O2M1	1,43	1,17	1,04	9,0	7,3	6,5
O2M2	1,59	1,31	1,03	9,9	8,2	6,4
O2M3	1,29	1,14	1,33	8,1	7,1	8,3
O3M1	1,78	1,17	1,15	11,1	7,3	7,2
O3M2	1,74	1,66	1,01	10,9	10,3	6,3
O3M3	1,55	1,62	1,43	9,7	10,2	8,9
O	1,77	1,54	1,20	11,1	9,6	7,5
M	1,06	1,09	1,38	6,6	6,8	8,6

Sotelo *et al.* (1998), comparando patatas silvestres y cultivadas, encuentran un contenido medio de proteína de 9,5 g/100 g de peso seco para las cultivadas, siendo este valor superior a la mayoría de los obtenidos en el presente estudio (Tabla 5.66). Sin embargo, las concentraciones de proteína en el presente estudio son superiores a las obtenidas por investigadores como Leszczynski y Lisinska (1988), los cuales analizan 14

variedades de patata. Por otro lado, si las comparamos con las observadas por Srikumar y Öckerman (1990), para la variedad Provita, tenemos valores similares para el tratamiento mineral, mayores para el tratamiento orgánico e inferiores para el control.

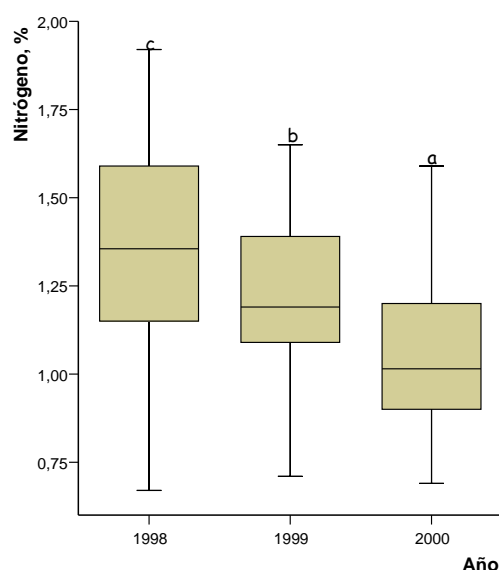
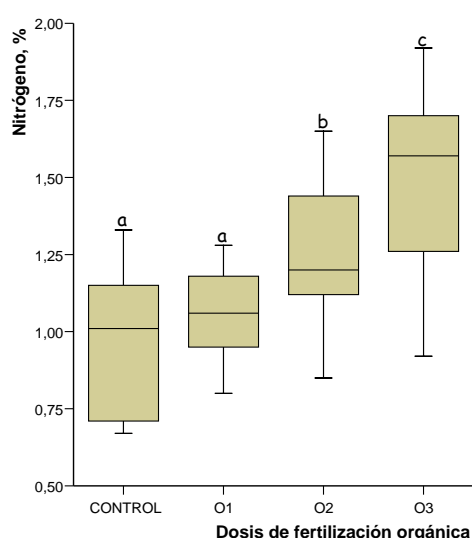


Figura 5.59.- Porcentaje de nitrógeno en tubérculo para los tres años de estudio

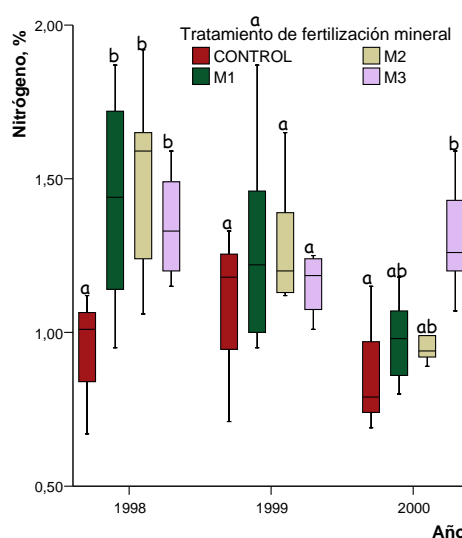
Los porcentajes de nitrógeno y proteína total están afectados significativamente por el año, siendo los valores del año 1998 significativamente ($p < 0,05$) mayores que los de los años 2000 y 1999 (Figura 5.59). Estas mayores concentraciones en 1998 están de acuerdo con las mayores concentraciones de nitrato y nitrógeno total en el suelo inicial.

Las concentraciones de nitrógeno y proteína total en tubérculo están afectadas también por la dosis de fertilización orgánica, habiendo interacción año x tratamiento de fertilización mineral.

Los porcentajes más elevados de nitrógeno y proteína total corresponden a la dosis más elevada de gallinaza que se combina con fertilización mineral, es decir, O3, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control (Figura 5.60a).



(a)



(b)

Figura 5.60.- Porcentaje de nitrógeno en tubérculo según la dosis de fertilización orgánica (a) y según el tratamiento de fertilización mineral (b)

En cuanto a la fertilización mineral, se encuentran efectos significativos en los años 1998 y 2000. En 1998 los tratamientos M1, M2 y M3 se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del control, pero no entre sí. En 2000 únicamente el tratamiento M3 (el único que incorpora nitrógeno inorgánico) presenta valores significativamente ($p < 0,05$) más altos que el control (Figura 5.60b).

En los tres años de estudio los porcentajes de nitrógeno y proteína total son significativamente ($p < 0,05$) mayores en el tratamiento O que en el control. La concentración de nitrógeno en el tubérculo parece estar determinada principalmente por el abonado orgánico. También Srikumar y Öckerman (1990) encuentran contenidos de proteína y nitrógeno mayores en las muestras abonadas orgánicamente que las fertilizadas inorgánicamente, mientras que Leszczynski y Lisinska (1988) observaron un aumento en el contenido de nitrógeno en tubérculo al aumentar la dosis de fertilizante nitrogenado.

Tabla 5.67.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del porcentaje de nitrógeno en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) en los tres años de estudio y del tubérculo

	1998	1999	2000
Nitrógeno total en suelo	0,532**		
Nitrato en suelo	0,424**	0,492**	
Potasio de cambio		0,455**	
Cinc Mehlich 3	0,360*		0,597**
Nitrógeno en hoja	0,656**		0,615**
Nitrógeno en peciolo	0,541**		0,458**
Materia seca tubérculo		-0,381*	-0,341*
Densidad del tubérculo		-0,384*	-0,337*

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Se han encontrado correlaciones significativas del nitrógeno del tubérculo con el nitrógeno total en el suelo en el momento de la emergencia en 1998 y con el nitrato en el suelo en la misma fecha en 1998 y 1999. En 1999, en que la concentración de potasio asimilable en el suelo inicial es muy baja, se observa también una correlación significativa entre la concentración de potasio de cambio en la emergencia y la concentración de nitrógeno en el tubérculo, lo que parece indicar una sinergia entre estos dos nutrientes. En 2000 la concentración de cinc asimilable en el suelo se correlaciona significativamente con la concentración de nitrógeno en tubérculo, como lo hace también con el rendimiento. Se encuentran igualmente correlaciones significativas con el nitrógeno en hojas y peciolo (Tabla 5.67). Se observan además correlaciones significativas negativas con la densidad y

la materia seca del tubérculo, hecho que está de acuerdo con la observación por diversos autores (Dahlenburg *et al.*, 1990; Westermann *et al.*, 1994a y b; Belanger *et al.*, 2002; Sparrow y Chapman, 2003b; Long *et al.*, 2004; Zebarth *et al.*, 2004) de que la fertilización nitrogenada incide negativamente en estos factores de calidad de tubérculo.

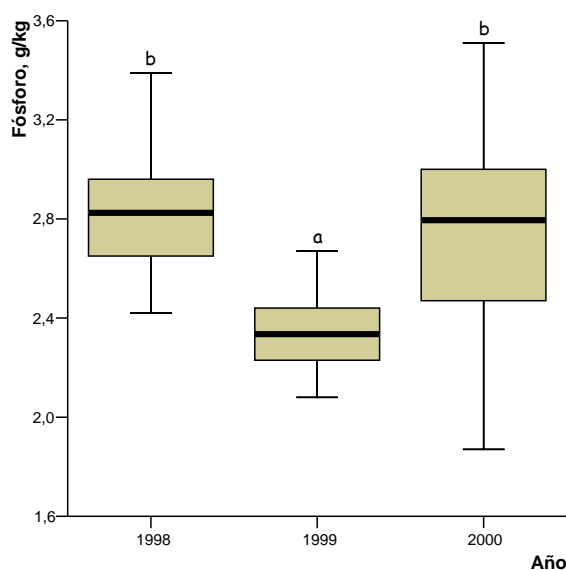
Fósforo

La concentración de fósforo en tubérculos oscila entre 2,09 g kg⁻¹ y 3,17 g kg⁻¹ de peso seco para los distintos tratamientos a lo largo de los tres años de estudio (Tabla 5.68).

Estas concentraciones son mayores (alrededor del doble) que las obtenidas por Warman y Havard (1998), para la variedad Superior, y por Kolbe *et al.* (1995b) para la variedad Grata, y ligeramente inferiores a las encontradas por Leszczynski y Lisinska (1988) en catorce variedades de patata. Están, sin embargo, dentro del rango de las obtenidas por Lema (1996) para fertilización mineral (en cuatro variedades de patata, entre ellas la Kennebec), y serían calificadas como normales (0,17-0,32%) por Matutano (1983).

Tabla 5.68.- Concentración de fósforo en tubérculos, g kg⁻¹ materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Fósforo en tubérculo, g kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
Control	2,73	2,51	2,36
O1M1	2,84	2,53	2,73
O1M2	2,79	2,72	2,84
O1M3	2,71	2,46	2,70
O2M1	2,57	2,24	2,39
O2M2	2,81	2,27	2,70
O2M3	3,05	2,22	3,11
O3M1	2,84	2,23	2,81
O3M2	2,84	2,33	2,86
O3M3	3,02	2,09	3,17
O	2,92	2,42	2,19
M	2,75	2,47	2,33



La concentración de fósforo está afectada significativamente por el año de ensayo, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor en los años 2000 y 1998 que en 1999 (Figura 5.61). Esta diferencia está de acuerdo con la diferencia de fósforo Mehlich 3 en el suelo.

Figura 5.61.- Concentraciones de fósforo en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio

En las muestras analizadas en el presente estudio no aparece ninguna influencia en la concentración de fósforo en tubérculo de los distintos tratamientos de fertilización aplicados.

Los efectos de la fertilización nitrogenada, potásica ó fosfórica en la concentración del fósforo en el tubérculo de la patata, han sido discutidos por muchos investigadores. Son frecuentes las referencias bibliográficas acerca de una conexión entre el abonado nitrogenado y fosfórico. Los aportes de nitrógeno influyen favorablemente en el contenido de fósforo en tubérculos según Bulaev y Bulaeva (1975), mientras que Mica (1969) sostiene el efecto contrario.

En concordancia con los resultados del presente estudio, Sharma y Arora (1987) refieren que el nitrógeno no afecta al contenido de fósforo en tubérculos. Igualmente para Jiménez Aguilar (1994) el porcentaje de fósforo en tubérculo no varía significativamente con la fertilización nitrogenada ni con la fertilización potásica.

Asimismo, en Galicia, Lema (1996) no encuentra efectos significativos del abonado nitrogenado y potásico sobre el contenido de fósforo en tubérculos.

Potasio

La concentración de potasio en los tubérculos varía entre $13,29 \text{ g kg}^{-1}$ y $23,70 \text{ g kg}^{-1}$ de peso seco para los distintos tratamientos a lo largo de los tres años de estudio (Tabla

5.69). Estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos por Leszczynski y Lisinska (1988) para catorce variedades de patata, pero muy superiores a los presentados por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior o por Kolbe *et al.* (1995b) para la variedad Grata. Las concentraciones de potasio en este estudio son similares a las de Westermann (1990) que presenta valores del 2%. Matutano (1983) señala como normales contenidos de potasio comprendidos entre 1,8 y 2,5% y Manrique y Uehara (1984a y b; citado por Lema, 1996) obtiene valores de 1,6 a 3,0%. Rivero *et al.*, (2003) obtienen concentraciones de potasio que varían entre 4,9 y 6,9 g kg⁻¹ para ocho variedades de patata cultivadas en Tenerife.

Tabla 5.69.- Concentración de potasio en tubérculos, g kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Potasio en tubérculo, g kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
Control	18,4	20,2	20,6
O1M1	23,7	19,4	15,3
O1M2	20,4	18,2	15,5
O1M3	21,5	22,6	19,2
O2M1	22,6	21,0	15,1
O2M2	21,1	19,2	17,5
O2M3	21,1	19,9	15,1
O3M1	22,1	19,5	17,0
O3M2	20,2	17,4	15,4
O3M3	21,6	15,7	13,3
O	20,1	17,7	16,8
M	21,1	17,3	19,9

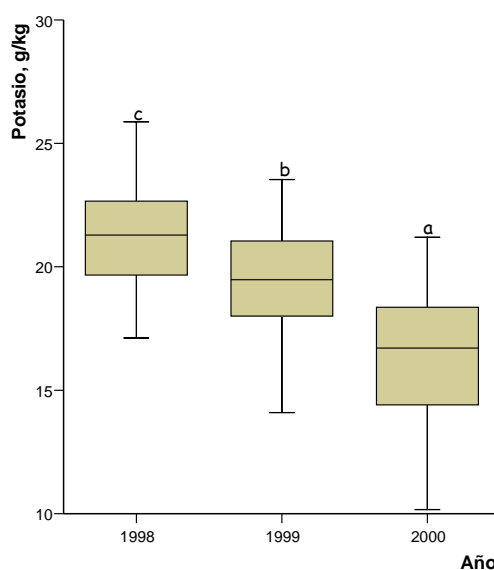


Figura 5.62.- Concentraciones de potasio en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio

La concentración de potasio está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, siendo mayor en 1998 que en 2000 y 1999 (Figura 5.62). La variación interanual de la concentración de potasio en el tubérculo está de acuerdo con la variación del potasio de cambio en el suelo.

En este estudio no se observan diferencias estadísticamente significativas para la concentración de K en tubérculo entre las distintas dosis de gallinaza, ni entre los tratamientos de fertilización mineral, ni entre el tratamiento totalmente orgánico y el mineral.

Warman y Havard (1998) encontraron que la concentración de potasio en tubérculo fue más alta en un ensayo con fertilización orgánica (estiércol de granja) que con fertilización inorgánica, aunque las diferencias no fueron significativas.

La concentración de potasio en tubérculo presenta en 1998 una correlación significativa negativa con la concentración de materia seca ($r = -0,338$, $p < 0,05$); este hecho está en concordancia con el efecto negativo de la fertilización potásica sobre los valores de densidad y materia seca, encontrado por diversos autores (Westermann *et al.*, 1994a y b; Panique *et al.*, 1997). Por otra parte, la concentración de potasio en tubérculo está correlacionada significativa y positivamente con la concentración de Mg en tubérculo en los tres años de ensayo ($r = 0,395$, $0,688$ y $0,799$ en 1998, 1999 y 2000, respectivamente; $p < 0,05$ en 1998 y $< 0,01$ en 1999 y 2000), indicando una posible sinergia entre estos dos nutrientes.

Extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio por la cosecha

A partir de los datos de rendimiento total, porcentaje de materia seca y concentraciones de N, P y K en tubérculo, se calcularon las extracciones de estos elementos por la cosecha, que se resumen en la Tabla 5.70.

Tabla 5.70.- Intervalos de variación y valores medios de las extracciones por la cosecha en cada año de ensayo y en los tres años

	1998	1999	2000	Los tres años
Extracción N, kg ha^{-1}	65-181 (118)	94-201 (144)	84-196 (139)	65-201 (134)
Extracción P, kg ha^{-1}	19-30 (24 ^a)	22-31 (27 ^a)	21-45 (33 ^b)	19-45 (28)
Extracción K, kg ha^{-1}	128-206 (181 ^a)	178-274 (216 ^b)	163-243 (203 ^{ab})	128-274 (200)

Letras diferentes en los valores medios indican diferencias significativas entre años

Las extracciones de fósforo son máximas en 2000, el año de mayor producción. Por el contrario, las extracciones de potasio son máximas en 1999, con un rendimiento menor que en 2000. Esto indica un consumo de lujo de potasio en 1999. En cuanto al nitrógeno, las extracciones no presentan diferencias significativas entre años, a pesar de las diferencias en el rendimiento. Parece, por tanto, que en los años de menor producción puede haber un consumo de lujo de nitrógeno.

En general, las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio son mayores en las parcelas fertilizadas que en las parcelas control. Sin embargo, no se aprecian diferencias significativas en las extracciones de fósforo y potasio entre los distintos niveles de fertilización orgánica o mineral. Las extracciones de nitrógeno aumentan al aumentar la dosis de fertilización orgánica, siendo máximas en el tratamiento O.

El rendimiento de la cosecha se correlaciona positivamente con las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Figuras 5.63, 5.64 y 5.65). La mejor correlación se obtiene con el fósforo, para el que un ajuste cuadrático da un coeficiente de determinación de 0,795. Los rendimientos más elevados ($64,1$ y $6,3 \text{ t ha}^{-1}$, en 2000) corresponden a las máximas extracciones de fósforo (unos 46 kg ha^{-1}) y a muy elevadas extracciones de nitrógeno (más de 190 kg ha^{-1}), mientras las extracciones de potasio (182 y 216 kg ha^{-1}) están próximas al valor medio de este parámetro (200 kg ha^{-1}).

Mediante un método de regresión lineal por pasos sucesivos, se obtiene la siguiente estimación del rendimiento en función de las extracciones de fósforo, potasio y nitrógeno:

$$\text{Rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} = -1,4 + 0,939 \times \text{extracción P (kg ha}^{-1}\text{)} + 0,084 \times \text{extracción K (kg ha}^{-1}\text{)} + 0,052 \times \text{extracción N (kg ha}^{-1}\text{)}$$

La extracción de P explica un 73% del rendimiento, conjuntamente con la de K explican un 83% y añadiendo la de N se explica un 85%.

Esta ecuación parece indicar una baja influencia de la absorción de nitrógeno y potasio en el rendimiento del cultivo, frente a una mayor influencia de la absorción de fósforo. Esto podría deberse a que el P no actúa como limitante ya que la extracción es menor al aporte mientras que de N y K se extrae más de lo que se aporta. Como se ha comentado el K de cambio aumenta el rendimiento mientras que las mayores relaciones Ca/K lo disminuyen, lo que podría hacer suponer que en este ensayo el K no esté en concentración óptima y aunque se extrae K de la reserva del suelo, resulta insuficiente.

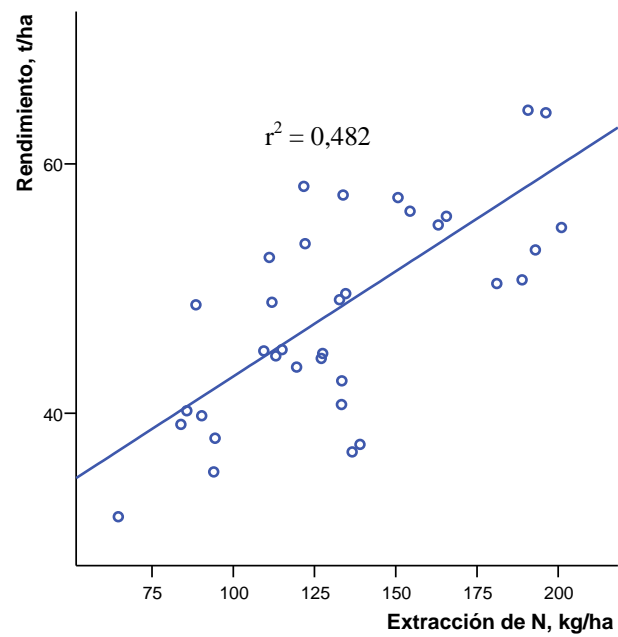


Figura 5.63.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de nitrógeno

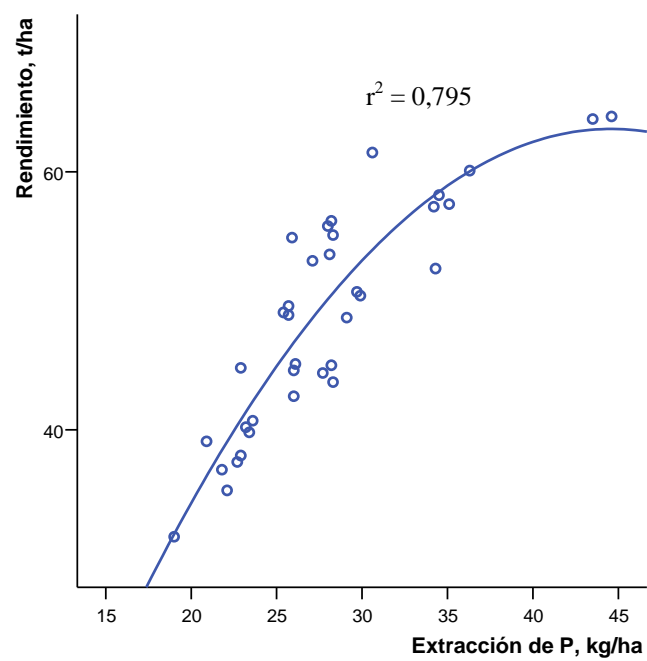


Figura 5.64.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de fósforo

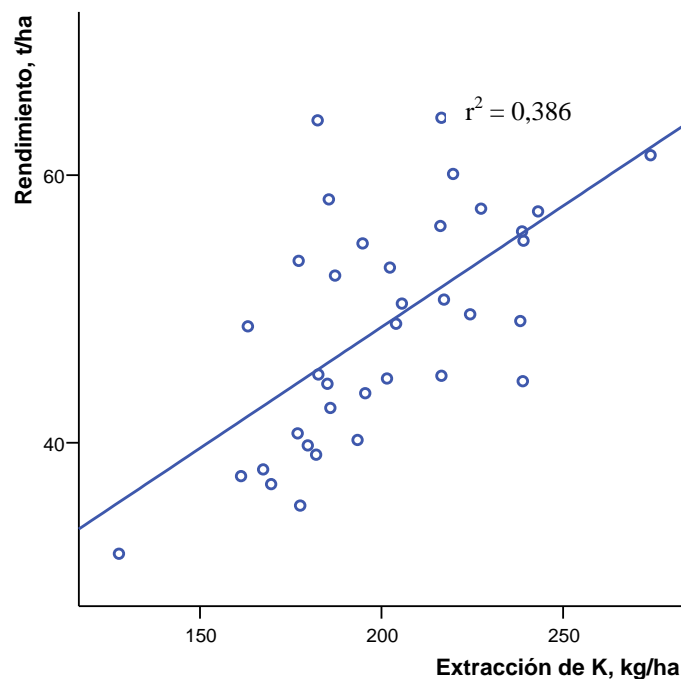


Figura 5.65.- Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de potasio

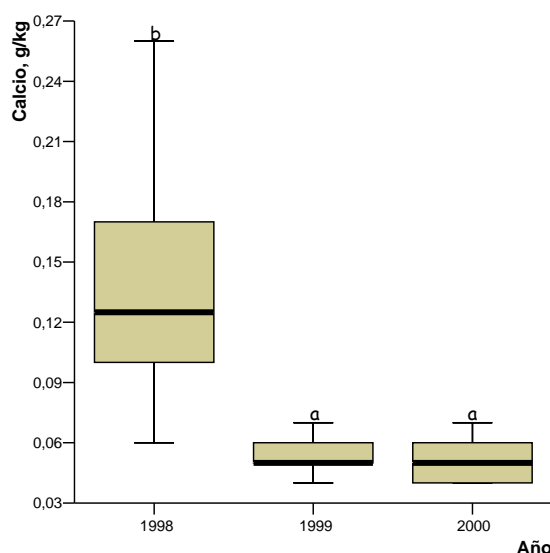
Calcio

Las muestras analizadas tienen una concentración de calcio que varía entre 0,04 y 0,18 g kg⁻¹ materia seca en los distintos tratamientos y los tres años de ensayo (Tabla 5.71), coincidiendo con los valores presentados por Warman y Havard (1998). Por otra parte, los resultados del presente estudio son muy bajos en comparación con los obtenidos por Lema (1996), para cuatro variedades de patata (entre ellas la Kennebec) en la comarca de Bergantiños (0,15-0,19%) y están muy por debajo del intervalo 0,32-0,88% propuesto como normal por Matutano (1983). Son, sin embargo, comparables a los valores publicados por Rivero *et al.*, (2003), que obtienen concentraciones de calcio que varían entre 47,6 y 87,3 mg kg⁻¹ para ocho variedades de patata cultivadas en Tenerife. Estos bajos contenidos de calcio están presumiblemente motivados por los bajos valores de la concentración de calcio de cambio y la relación Ca/K en el suelo, particularmente en 1998.

Tabla 5.71.- Concentración de calcio en tubérculos, g kg⁻¹ materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Calcio en tubérculo, g kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
Control	0,10	0,06	0,05
O1M1	0,12	0,06	0,04
O1M2	0,18	0,07	0,05
O1M3	0,10	0,06	0,05
O2M1	0,11	0,05	0,05
O2M2	0,17	0,05	0,05
O2M3	0,10	0,05	0,05
O3M1	0,18	0,05	0,05
O3M2	0,16	0,05	0,05
O3M3	0,12	0,06	0,05
O	0,11	0,06	0,04
M	0,16	0,08	0,06

La concentración de calcio está afectada significativamente por el año y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción entre estos dos factores. El año de ensayo influye significativamente ($p < 0,05$) en las concentraciones de calcio, que son máximas en el año 1998 (Figura 5.66), hecho que se atribuye a la menor producción en este año. Por el contrario, la dosis de fertilización orgánica no afecta a la concentración de Ca en el tubérculo.



Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de calcio está influenciada por el tratamiento de fertilización mineral únicamente en el año 1998, correspondiendo las concentraciones de calcio más elevadas al tratamiento de fertilización mineral M2. Este hecho se atribuye al aporte de calcio con el superfosfato.

Figura 5.66.- Concentraciones de calcio en tubérculo (referidas a materia seca) para los tres años de estudio

En los tres años de estudio los tratamientos O y M no se diferencian significativamente ($p < 0,05$) del control.

La concentración de calcio en tubérculo está correlacionada en 1998 (año en que se aprecia un mayor déficit relativo de calcio) con la concentración de nitrato en el suelo en el momento de la emergencia así como con las concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo en el final de la tuberización (Tabla 5.72). Estas correlaciones parecen indicar una influencia positiva del nitrógeno sobre la asimilabilidad del calcio.

Tabla 5.72.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de calcio en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) en 1998

	1998
Nitrato en suelo	0,441**
Nitrógeno en hoja	0,390*
Nitrógeno en peciolo	0,422*

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Magnesio

La concentración de magnesio en los tubérculos varía entre 0,55 y 1,09 g kg⁻¹ en los distintos tratamientos y los tres años de estudio (Tabla 5.73). Los valores obtenidos por Kolbe *et al.* (1995b) para la variedad Grata son similares a los del presente estudio y los obtenidos por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior son ligeramente inferiores. Sin embargo, las concentraciones de magnesio aquí obtenidas son muy inferiores a las encontradas por Lema (1996) para la variedad Kennebec (entre 1,06 y 1,28%). Los suelos utilizados en los ensayos de Lema (1996) en la comarca de Bergantiños son, a diferencia de los del presente ensayo, ricos en magnesio, debido a la mayor presencia de este elemento en el material original y a la proximidad al mar. También Yuan *et al.* (1985) y Manrique y Uehara (1984a y b: citado por Lema, 1996) obtienen valores superiores a los del presente ensayo, que a su vez están muy por debajo del intervalo de 0,65 a 1,36% señalado como normal por Matutano (1983). Por el contrario, Rivero *et al.* (2003) obtienen concentraciones de magnesio que varían entre 188 y 250 mg kg⁻¹ para ocho variedades de patata cultivadas en Tenerife.

Tabla 5.73.- Concentración de magnesio en tubérculo, g kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Tratamiento	Magnesio en tubérculo, g kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
Control	0,91	0,83	0,87
O1M1	1,01	0,77	0,70
O1M2	0,99	0,64	0,71
O1M3	0,98	0,89	0,75
O2M1	1,09	0,80	0,64
O2M2	0,99	0,86	0,79
O2M3	0,96	0,87	0,66
O3M1	1,03	0,78	0,71
O3M2	0,86	0,70	0,62
O3M3	0,98	0,67	0,55
O	1,08	0,83	0,68
M	0,99	0,81	0,86

La concentración de magnesio está afectada significativamente por el año y la dosis de fertilización orgánica, no habiendo interacción entre ambos factores. Los tres años de ensayo dan lugar a concentraciones de magnesio significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximas en 1998, el año de menor producción (Figura 5.67a).

Las concentraciones de magnesio en tubérculo más elevadas corresponden al control, al igual que sucedía en las hojas, significativamente diferentes ($p < 0,05$) de la dosis más elevada de gallinaza que se combina con fertilización mineral, es decir, O3 (Figura 5.67b). En los tres años de estudio no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos control, O y M. Las elevadas concentraciones en los tubérculos de las parcelas control se relacionan con la menor producción, mientras que concentraciones elevadas en los tratamientos O y M se atribuyen al aporte de este elemento con el abonado.

En contraste con nuestros resultados, Kolbe *et al.* (1995b) encuentran que los tubérculos cultivados con fertilización orgánica (compost) contienen alrededor de 100 mg kg⁻¹ más de magnesio comparados con un tratamiento mineral (NPK) y una concentración algo mayor que los tubérculos cultivados con fertilización mixta (orgánica y mineral). Warman y Havard (1998) obtienen similares diferencias entre tratamientos orgánico y mineral.

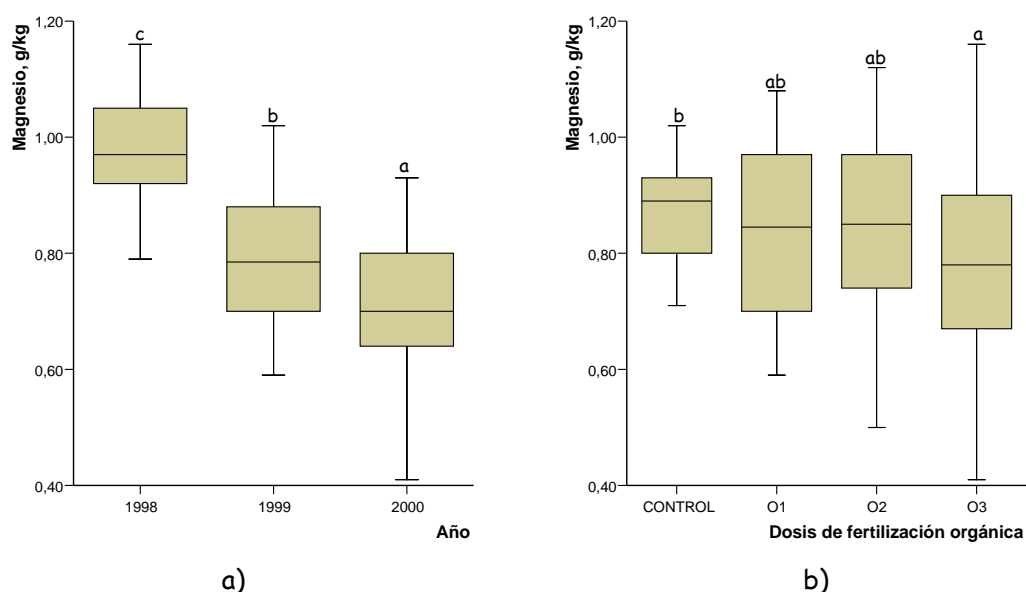


Figura 5.67.- Magnesio del tubérculo para los tres años de estudio (a) y magnesio del tubérculo según la dosis de fertilización orgánica

Tabla 5.74.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de magnesio en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia), de hoja y peciolo (en el fin de la tuberización) y del tubérculo en los tres años de estudio

	1998	1999	2000
Magnesio en hoja			0,482**
Magnesio en peciolo			0,440**
Potasio en tubérculo	0,395*	0,688**	0,799**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Sorprendentemente la concentración de magnesio en tubérculo está correlacionada positivamente con la concentración de potasio en los tres años de ensayo (Tabla 5.74), al contrario de lo observado en hoja y peciolo. También Rivero *et al.* (2003) encuentran correlaciones positivas significativas entre concentraciones de potasio y magnesio en tubérculos de ocho variedades cultivadas en Tenerife. Por otra parte, únicamente en el año 2000 se encuentran correlaciones positivas entre las concentraciones de magnesio en tubérculo, hoja y peciolo.

Micronutrientes

Cobre

La concentración de cobre en tubérculo está comprendida entre 8,67 y 12,67 mg kg⁻¹ de materia seca en el año 1998. En 1999 y 2000 está por debajo del límite de detección

(Tabla 5.75). Las elevadas concentraciones de 1998, superiores a las publicadas en diversos trabajos consultados (Srikumar y Öckerman, 1990; Warman y Havard, 1998; Rivero *et al.*, 2003) se atribuyen, lo mismo que las concentraciones en hoja y peciolo, a la aplicación de fungicidas a base de cobre. Las altas concentraciones en tubérculo pueden ser originadas por absorción foliar del cobre aplicado como fungicida.

Tabla 5.75.- Micronutrientes en tubérculos, mg kg⁻¹, para distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Micronutrientes en tubérculo, mg kg ⁻¹										
Tratamiento	1998				1999			2000		
	Hierro	Manganeso	Cobre	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc
Control	142,3	43,7	11,0	86,7	85,9	11,5	5,6	99,2	12,0	1,7
O1M1	194,3	44,7	12,0	73,7	87,7	10,7	2,4	110,6	12,6	3,5
O1M2	193,0	43,3	9,0	72,3	94,8	11,2	2,5	98,6	11,5	1,7
O1M3	149,0	40,7	9,0	68,3	92,9	12,8	0,8	88,9	10,0	3,4
O2M1	176,0	45,3	10,0	75,3	94,4	12,5	2,4	87,1	12,4	1,7
O2M2	176,3	44,0	12,7	75,0	95,6	11,2	2,5	88,5	12,0	0,9
O2M3	143,0	40,3	8,7	71,0	93,2	10,5	5,6	100,2	11,5	4,1
O3M1	178,7	40,3	8,7	74,7	92,9	11,9	2,5	91,9	12,3	0,9
O3M2	168,3	52,3	11,0	73,3	92,6	12,7	2,5	79,0	11,5	3,3
O3M3	157,3	49,7	9,7	74,7	86,3	11,3	2,5	73,3	11,8	1,7
O	160,0	45,7	11,7	70,3	83,2	10,0	2,5	81,7	12,4	3,3
M	177,3	41,3	10,0	78,3	97,0	10,2	6,0	90,1	11,4	1,6

La concentración de cobre no está afectada por los tratamientos ensayados, como es de esperar si el origen del cobre está en la aplicación foliar de fungicidas y no en la absorción a partir del suelo. Por el contrario, sí está influida por el año de ensayo, estando por debajo del límite de detección del método de determinación utilizado en 1999 y 2000. Esta situación es similar a la observada para hojas y peciolo en la primera fecha de muestreo.

Cinc

Las concentraciones de cinc en tubérculo oscilan en un intervalo muy amplio, entre 0,82 y 86,67 mg kg⁻¹ de materia seca (Tabla 5.75), siendo muy superiores en el año 1998 a las concentraciones encontradas por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior (de 8,8 a 13,8 mg kg⁻¹) y por Srikumar y Öckerman (1990) para la variedad Provita (de 11,1 a 18,2 mg kg⁻¹). Rivero *et al.*, (2003) observaron concentraciones de cinc entre 2,18 y 37,0 mg kg⁻¹ para ocho variedades cultivadas en Tenerife. La concentración de cinc está afectada significativamente (p<0,05) por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre estos factores.

En cuanto al año, las concentraciones son mayores en 1998, lo mismo que se observó para las concentraciones de cinc en hojas y peciolo y el cinc extraíble del suelo con NH_4Cl 1M.

El tratamiento control da lugar a la mayor concentración de cinc en el tubérculo, significativamente ($p < 0,05$) más elevada que en el tratamiento O1, y que la fertilización mineral con potasio, M1 (Figura 5.68). Los tratamientos O y M dan lugar a concentraciones de cinc en tubérculo menores que el control, si bien en este caso las diferencias no son significativas. Estas mayores concentraciones de cinc en el tratamiento control se relacionan con el menor rendimiento de tubérculo.

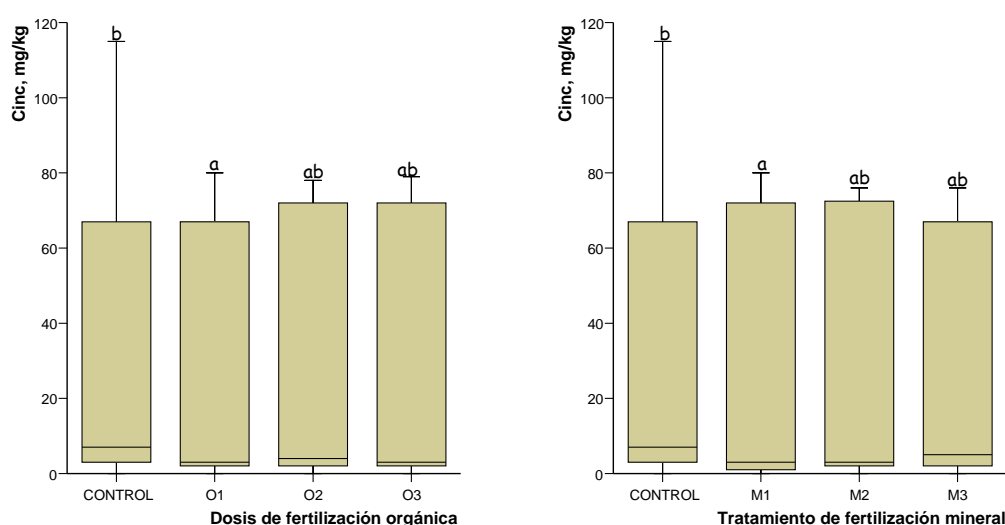


Figura 5.68.- Concentración de cinc en tubérculo según la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral

Las concentraciones de cinc en los tubérculos producidos con abonado totalmente orgánico (O) fueron menores, si bien las diferencias no son significativas a las de las parcelas tratadas con fertilizante exclusivamente mineral (M). Srikumar y Öckerman (1990) encuentran también las mayores concentraciones de cinc en las parcelas control, así como concentraciones significativamente menores en el tratamiento orgánico (compost) que en el tratamiento mineral (NPK). La mayor concentración en el tratamiento mineral puede ser debida al efecto del nitrato amónico, que baja el pH del suelo y favorece así la asimilabilidad del cinc. Asimismo puede producirse, en las parcelas tratadas con abono orgánico, una complejación del Zn por compuestos orgánicos en fase sólida, que disminuiría su disponibilidad.

Hierro

Las concentraciones de hierro en tubérculo oscilan entre 73 y 194 mg kg⁻¹ materia seca (Tabla 5.75), siendo muy superiores a las encontradas por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior (2,5 a 34,2 mg kg⁻¹) y por Rivero *et al.*, (2003) para 8 variedades (7,1 a 11,2 mg kg⁻¹). Las elevadas concentraciones de hierro en tubérculo están de acuerdo con elevadas concentraciones en hoja y peciolo así como con elevadas concentraciones de hierro asimilable en el suelo.

La concentración de hierro está afectada significativamente por el año, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x tratamiento de fertilización mineral. En cuanto al año, la concentración de hierro, lo mismo que la de cinc, es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998, lo que se relaciona con el menor rendimiento de tubérculo.

En lo que se refiere a la dosis de fertilización orgánica, la concentración de hierro más elevada corresponde a la dosis más baja de gallinaza, es decir O1, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de hierro está influenciada por el tratamiento de fertilización mineral únicamente en 1998, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor en los tratamientos M2 y M1 que en el control (Figura 5.69); lo mismo ocurre para las concentraciones en hoja y peciolo.

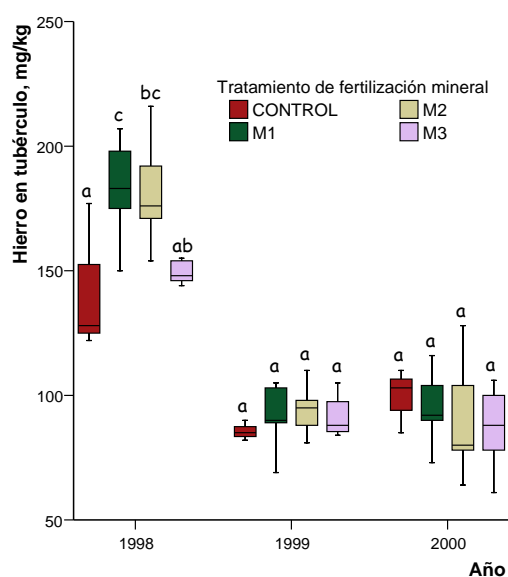


Figura 5.69.- Concentración de hierro en tubérculo en función del tratamiento de fertilización mineral para los tres años de ensayo

En los tres años de estudio el control no se diferencia significativamente ($p < 0,05$) de los tratamientos O y M.

Manganeso

La concentración de manganeso en el tubérculo es muy elevada en todas las parcelas (Tabla 5.75) comparada con las concentraciones citadas por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior (entre 2,8 y 7,2 mg kg⁻¹), por Srikumar y Öckerman (1990) para la variedad Provita (entre 4,3 y 6,8 mg kg⁻¹) y por Rivero *et al.* (2003) para ocho variedades (entre 1,2 y 2,1 mg kg⁻¹). Esta situación se corresponde con lo que sucede en la parte aérea de la planta, ya que también se encontraron concentraciones muy elevadas de manganeso en las hojas, como se citó anteriormente. Estos valores elevados resultan presumiblemente del bajo pH del suelo utilizado en el ensayo, que favorece la disponibilidad del Mn, al igual que la de otros micronutrientes analizados.

La concentración de manganeso está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, siendo en 1998 mayor que los otros dos años, igual que ocurre con la concentración de Mn extraído con NH₄Cl 1M del suelo. Lo mismo que las concentraciones de cinc y hierro, la mayor concentración de manganeso en 1998 está de acuerdo con el menor rendimiento.

No se observan influencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) de los tratamientos de fertilización orgánica y mineral. Estos resultados están de acuerdo con los de Srikumar y Öckerman (1990).

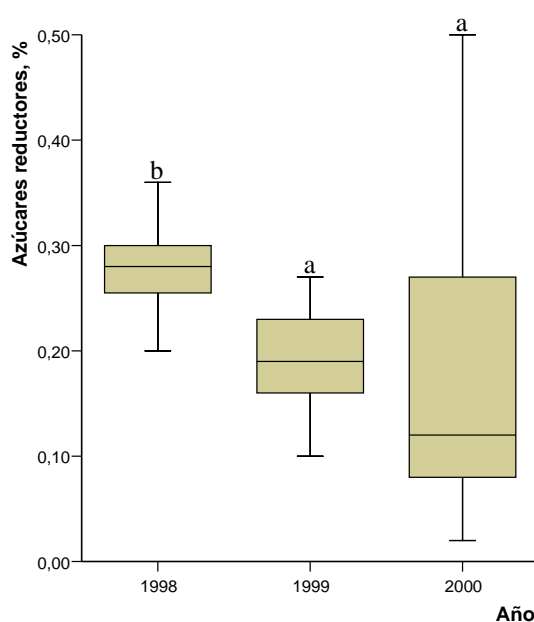
Azúcares reductores

El porcentaje de azúcares reductores varía entre 0,07 y 0,50%, referido a materia fresca, en los tres años de ensayo (Tabla 5.76). Únicamente en 2000 estos porcentajes están en la mayoría de los tratamientos por debajo del valor de 0,15%, recomendado para patatas fritas en láminas. En 1998 se supera incluso, en todos los tratamientos, el valor de 0,25% recomendado para fritura francesa (Borruey *et al.*, 2000). Únicamente un tratamiento en 1998 sobrepasó el umbral del 0,4% marcado por la Indicación Geográfica Protegida "Patata de Galicia". Bajos contenidos de azúcares reductores indican una mayor calidad para fritura, ya que estas sustancias son responsables del excesivo pardeamiento del producto frito a través de la reacción de Maillard (Roe *et al.*, 1990).

Tabla 5.76.- Azúcares reductores en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Azúcares reductores, % sobre materia fresca			
Tratamiento	1998	1999	2000
Control	0,28	0,25	0,34
O1M1	0,26	0,34	0,18
O1M2	0,28	0,19	0,10
O1M3	0,27	0,22	0,13
O2M1	0,28	0,18	0,08
O2M2	0,50	0,20	0,21
O2M3	0,26	0,16	0,37
O3M1	0,27	0,23	0,14
O3M2	0,32	0,22	0,07
O3M3	0,29	0,18	0,16
O	0,25	0,18	0,19
M	0,31	0,25	0,21

La concentración de azúcares reductores está influida significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre estos factores.



El año 1998 es el que da lugar a una mayor concentración de estos azúcares. La menor concentración en 2000 se relaciona con unas condiciones climáticas más secas (Figura 5.70 y 5.2). Hamouz *et al.* (2000) encuentran menor contenido de azúcares reductores en climas más cálidos y secos.

Figura 5.70.- Concentración de azúcares reductores en función del año

La fertilización da lugar a una disminución significativa ($p < 0,05$) de la concentración de azúcares reductores, presentando el tratamiento control los valores más elevados, significativamente diferentes de la dosis de gallinaza más baja, O1 y del tratamiento de fertilización mineral M1 (Figura 5.71). Por el contrario, no se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el control y los tratamientos O y M.

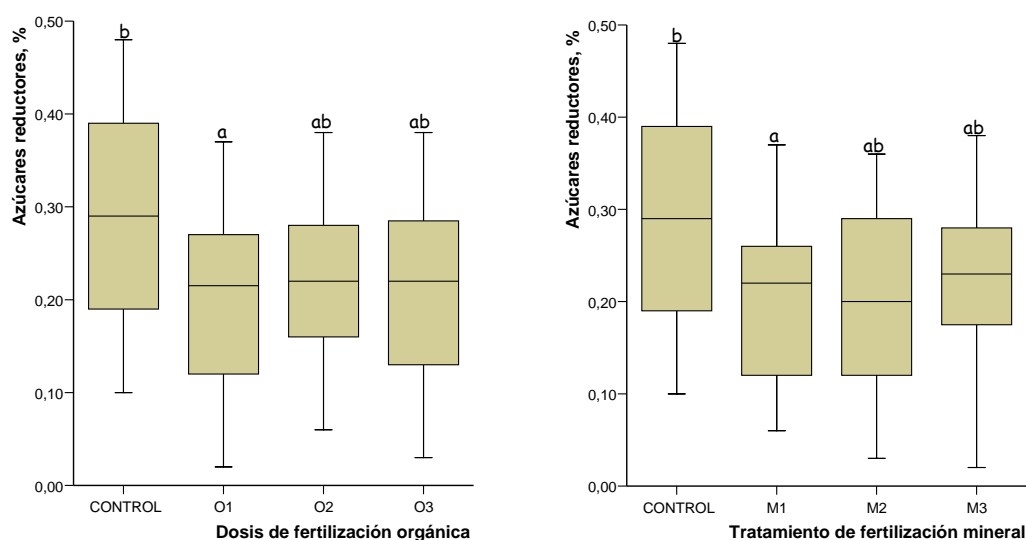


Figura 5.71.- Concentración de azúcares reductores en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral

La concentración de azúcares reductores presenta correlaciones significativas con algunos parámetros del suelo en los años 1998 y 2000 (Tabla 5.77). En 1998, las mayores concentraciones se correlacionan con mayores valores del fósforo Olsen y el potasio de cambio. El aumento de la concentración de azúcares reductores con la concentración de fósforo asimilable está de acuerdo con Kolbe *et al.*, (1995a), según los cuales la concentración de azúcares reductores aumenta con la fertilización fosfatada. Curiosamente, la correlación positiva entre azúcares reductores y potasio de cambio es contraria a los resultados de Herlihy y Carroll (1969), Westermann *et al.* (1994b) y Kolbe *et al.* (1995a), que encuentran que la aplicación de potasio da lugar a una disminución de la concentración de azúcares reductores.

Tabla 5.77.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de azúcares reductores en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) en 1999 y 2000

	1998	2000
P Olsen suelo	0,641**	
Amonio en suelo	0,546*	0,425*
Potasio de cambio	0,524**	
CIC efectiva		-0,332*

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Ácidos orgánicos

Las concentraciones de ácidos ascórbico y cítrico se determinaron únicamente en los tubérculos producidos en los años 1998 y 2000.

Ácido ascórbico

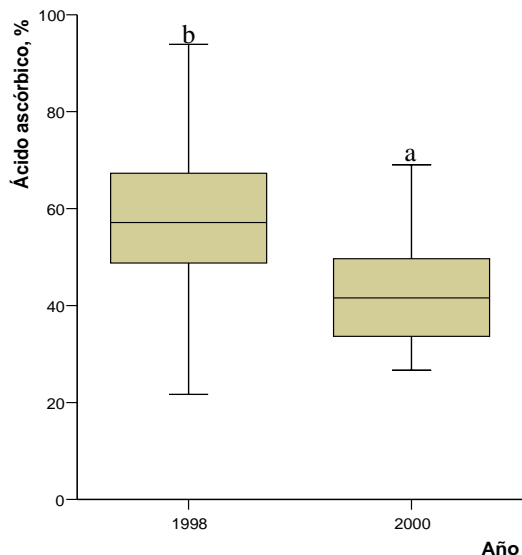
La patata hervida y sin pelar es una buena fuente de vitaminas solubles en agua (Finglas y Faulks, 1984) y entre ellas destaca la vitamina C ó ácido ascórbico, que es un factor de calidad. Esta sustancia es un antioxidante, que puede retrasar la formación de "black spot" por la reducción de quinonas a fenoles (Mondy y Munshi, 1993) y retrasa la decoloración enzimática al cortar frutas y vegetales.

En el presente trabajo, el contenido de ácido ascórbico varía entre 28,4 y 87,6 mg kg⁻¹ de materia fresca (Tabla 5.78), siendo muy inferior a aquellos encontrados por Cieslik (1994), que oscilan entre 118 y 271 mg kg⁻¹ de peso fresco para 5 variedades de patata (Mila, Fauna, Atol, Bryza y Uran), o los 267 mg kg⁻¹ de peso fresco para la variedad Superior obtenidos por Warman y Havard (1998). Estos autores coinciden en señalar que el contenido en vitamina C puede ser específico de la variedad y además aprecian diferencias significativas dentro de la misma variedad de un año a otro.

Tabla 5.78.- Concentración de ácido ascórbico en tubérculo, mg kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Ácido ascórbico en tubérculo, mg kg ⁻¹ de materia fresca		
Tratamiento	1998	2000
Control	51,4	38,1
O1M1	59,9	39,3
O1M2	87,6	40,1
O1M3	51,9	51,1
O2M1	70,7	41,1
O2M2	61,2	43,1
O2M3	52,8	33,7
O3M1	40,5	40,3
O3M2	61,9	80,2
O3M3	46,4	40,2
O	49,0	53,5
M	55,1	28,4

La concentración de ácido ascórbico está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, siendo mayor en 1998 (Figura 5.72), no estando afectada por la fertilización orgánica ni por la mineral. Warman y Havard (1998) tampoco obtuvieron diferencias entre



tubérculos producidos con fertilización orgánica o mineral. De forma similar, Ceylan *et al.* (2006) encuentran que el abonado orgánico no afecta significativamente a la concentración de ácido ascórbico en tubérculo. Svec *et al.* (1976) o Warman y Havard (1998) tampoco obtuvieron diferencias entre tubérculos producidos con fertilización orgánica o mineral.

Figura 5.72.- Concentración de ácido ascórbico en función del año

Cieslik (1994) obtuvo una correlación negativa no lineal entre la concentración de ácido ascórbico y la de nitrato en suelo. En nuestro ensayo no se observa ningún tipo de correlación.

Ácido cítrico

El ácido cítrico es el que ha aparecido en mayor concentración de los dos ácidos orgánicos estudiados, coincidiendo con Jadhav y Andrew (1977), Wills *et al.* (1984), Silva *et al.* (1991a) ó Rovers y Kasprzycka-Guttman (1992). Estos últimos afirman que el ácido cítrico comprende el 90% del total de ácidos orgánicos (medido por HPLC en patatas australianas).

El contenido medio de ácido cítrico en las patatas estudiadas varía entre 2523 y 7535 mg kg⁻¹ de peso fresco (Tabla 5.79). Estos valores son un poco superiores a los encontrados por Rovers y Kasprzycka-Guttman (1992) para nueve variedades distintas de patata (Allagash Russet, Atlantic, Monona, Red Pontiac, Russet Burbank, Norchip, Superior, Green Mountain y Cobbler), que presentan contenidos que oscilan entre 2744 y 5705 mg kg⁻¹ de peso fresco. Para la variedad Spartan Pearl, Silva *et al.* (1991a) observaron

concentraciones de ácido cítrico entre 765 y 7125 mg kg⁻¹ de peso fresco, dependiendo la concentración de la variedad, de las condiciones meteorológicas y de las diferentes prácticas agronómicas.

Tabla 5.79.- Concentración de ácido cítrico en tubérculo, mg kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (O = abonado orgánico; M = fertilización mineral)

Ácido cítrico en tubérculo, mg kg ⁻¹			
Tratamiento	1998	1999	2000
Control	4400		3330
O1M1	5777		3591
O1M2	5643		3062
O1M3	5778		3689
O2M1	6711		3197
O2M2	7199		3431
O2M3	5031		3706
O3M1	6289		2544
O3M2	5792		5120
O3M3	5288		3720
O	5619		3552
M	7535		2523

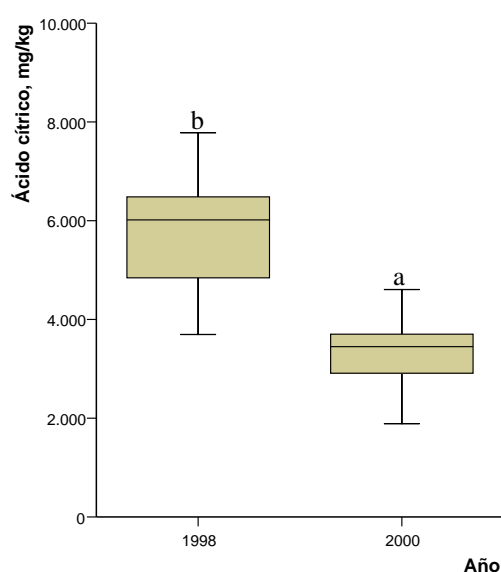


Figura 5.73.- Concentración de ácido cítrico en función del año

La concentración de ácido cítrico está afectada significativamente ($p < 0,05$) sólo por el año, siendo, lo mismo que el ácido ascórbico, mayor en 1998 que en 2000 (Figura 5.79).

En los años 1998 y 2000 se encuentran correlaciones positivas significativas ($p < 0,01$) entre las concentraciones de ácidos ascórbico y cítrico ($r = 0,345$ en 1998 y $r = 0,644$ en 2000).

Otros factores de calidad del tubérculo

Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático es un proceso químico responsable del desarrollo de color en frutas, vegetales y mariscos. Ocurre en superficies expuestas al aire de patatas, manzanas y frutos exóticos dando lugar al desarrollo de un color oscuro. El pardeamiento enzimático está catalizado por enzimas como las fenoloxidasas, que promueven la oxidación de compuestos fenólicos dando lugar a quinonas, que por polimerización originan melaninas. Este proceso da lugar a una pérdida de calidad de frutas y vegetales pudiendo ocasionar importantes pérdidas económicas. La actividad de las fenoloxidasas, y por tanto el pardeamiento enzimático, varía ampliamente entre variedades de patata (Alkhalifa y Mahmoud, 1993).

El pardeamiento enzimático fue significativamente influenciado por el año de estudio ($p < 0,05$). Los valores de este parámetro son significativamente mayores en 1999 que en los otros dos años. No se encuentra influenciado significativamente ($p < 0,05$) por la fertilización orgánica ni mineral.

Oscurecimiento después de cocción

El oscurecimiento después de la cocción consiste en el desarrollo de un color gris por los tubérculos tras el proceso de cocinado. El pigmento responsable de este fenómeno es un complejo del ácido clorogénico y hierro, que se forma durante la cocción y se oxida durante el enfriamiento. Se trata de un proceso no enzimático que no está relacionado con el pardeamiento enzimático (Wang-Pruski y Nowak, 2004). Aunque este proceso no afecta al sabor ni al valor nutritivo de la patata, la apariencia tiene un fuerte efecto negativo sobre el valor comercial.

La ausencia de agentes complejantes del hierro (ácido cítrico, fosfatos) ha sido señalada como contribuyente a la formación del pigmento oscuro después de la cocción (Smith, 1958; Muneta, 1959). Estos agentes compiten con los fenoles por el hierro, por lo tanto cuanto mayor es el contenido de ácido cítrico, menos cantidad de pigmento oscuro se forma (Hughes, 1962) y, por tanto, mejor calidad de patata. Se ha demostrado que, de las sustancias que compiten con el ácido clorogénico por el hierro, el ácido cítrico es con mucho el más efectivo (Gray y Hughes, 1978). Así Hughes y Swain (1962 a, b) encuentran en el tejido del núcleo de la patata que la distribución del oscurecimiento después de la cocción

está principalmente determinada por las concentraciones relativas de ácido clorogénico y ácido cítrico. También Silva *et al.* (1991a) en patatas Spartan Pearl encontraron una relación inversa entre oscurecimiento después del cocinado y concentración de ácido cítrico.

El pardeamiento en cocción fue significativamente ($p<0,05$) influenciado por el año de estudio. Los mayores valores se observan en el año 2000, lo que está de acuerdo con las menores concentraciones de ácido cítrico en el tubérculo observadas ese año. No se encuentra influenciado significativamente ($p<0,05$) por la fertilización orgánica ni mineral.

Calidad del frito

Todos los requisitos que se le exigen a la patata con este destino tienen dos fines, en primer lugar conseguir la mejor calidad del producto, y en segundo lugar obtener la mayor rentabilidad en el proceso de transformación de patata a crisp (Borruey *et al.*, 2000).

El color de los crisps (frito en láminas) varía entre 4 y 8. Este color está influenciado por el año de estudio ($p<0,05$), habiendo interacción año x tratamiento de fertilización mineral. En el año 1999 los crisps tienen un color más oscuro aunque no significativamente diferente de los del año 2000, presentando un mejor color de frito en el año 1998.

El porcentaje de crisps desechables está influenciado por el año de estudio ($p<0,05$) siendo los años 2000 y 1999 los de mayor porcentaje desechable significativamente distintos del año 1998, por la dosis de fertilización orgánica y por el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

El tratamiento control es el que da lugar a un mayor porcentaje de crisps desechables, significativamente diferente ($p<0,05$) de todos los tratamientos fertilizados.

Lavado

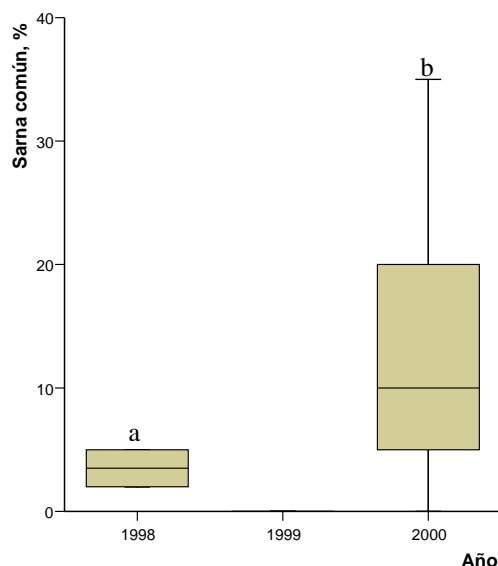
La aptitud para el lavado fue significativamente influenciada por el año de estudio. El año 1999 fue el más favorable para el lavado ($p<0,05$). No se encuentra influenciada significativamente ($p<0,05$) ni por la fertilización orgánica ni mineral.

Incidencia de enfermedades

Sarna Común

La sarna común (*Streptomyces scabies*) fue significativamente influenciada por el año de estudio ($p<0,05$). La incidencia de esta enfermedad fue casi imperceptible en el año 1999. En el año 2000 se presenta el mayor porcentaje de sarna común, significativamente ($p<0,05$) distinto de los otros dos años, llegando a alcanzar porcentajes de 35 (Figura 5.74). No se encuentra influenciado significativamente ($p<0,05$) ni por la fertilización orgánica ni mineral.

Según Alonso Arce (1996), la sarna común se presenta normalmente en suelos alcalinos, con un pH por encima de 7; sin embargo hay razas de esta bacteria que pueden crecer y provocar infección con pH menores de 5. En general, este autor recomienda mantener en el suelo un pH próximo a 5,5 para controlar la sarna. Otros autores (Lacey y Wilson, 2001) sitúan el umbral de pH para evitar esta enfermedad en 5,0-5,2. Otro factor importante del desarrollo de la sarna es la humedad del suelo durante el período de la tuberización (Rousselle *et al.*, 1999). En el presente estudio, los valores de pH del suelo



más bajos se presentan en 2000, por lo que no puede ser éste el factor determinante de la diferente incidencia de la sarna común. La mayor incidencia de esta enfermedad en 2000 debe atribuirse a la lluvia caída en el mes de julio de este año, a diferencia de los otros dos años de ensayo, que determinará una mayor humedad del suelo. Parece, por tanto, que son factores climáticos los que determinan la incidencia de esta enfermedad.

Figura 5.74.- Porcentaje de sarna común en función del año

Sarna Plateada

La sarna plateada (*Helminthosporium solani*) fue estudiada sólo para el año 2000, con un 32% de valor medio para todos los tratamientos. No se encuentra influenciada significativamente ($p < 0,05$) ni por la fertilización orgánica ni mineral.

Recuperación de N, P, K

Recuperación aparente del nitrógeno

Los valores obtenidos para la recuperación aparente del nitrógeno se resumen en la Tabla 5.80:

Tabla 5.80.- Recuperación aparente del nitrógeno en el tubérculo

Recuperación aparente del nitrógeno (%)			
Año	Media	Mínimo	Máximo
1998	21,8 b	14,0	30,4
1999	18,3 a	9,5	27,5
2000	26,3 c	11,7	50,4

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

La recuperación aparente del N está afectada por el año de estudio, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 2000 que en 1999 (Tabla 5.80), y por el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x tratamiento de fertilización mineral. Las bajas recuperaciones obtenidas en el año 1999 se relacionan con las elevadas precipitaciones producidas este año durante el período de desarrollo de la cosecha, particularmente en el mes de mayo (Tabla 5.1, Figura 5.1 y 5.2), que darían lugar a elevadas pérdidas de nitrógeno por lixiviación. En 1999 llueve entre mayo y septiembre 400 mm, frente a 207 mm en 1998, 146 mm en 2000 y 196 mm como media en el período 1961-1990. El año 1998 podría considerarse normal en cuanto a precipitación en este período, no así 1999 y 2000. La lluvia caída desde la plantación hasta el final de la tuberización es de 64 mm, 165 mm y 46 mm en los años 1998, 1999 y 2000, respectivamente. Similarmente Errebhi *et al.* (1998) determinaron una recuperación de nitrógeno por *Solanum tuberosum* L., cv. Russet Burbank, del 33% en un año de fuerte precipitación, frente al 56% en un año de menor precipitación. Las mayores recuperaciones en 2000 vienen determinadas por el elevado rendimiento de la cosecha, que, como se ha indicado, se atribuye al mayor equilibrio de nutrientes y mayor porcentaje de materia orgánica en el suelo en este año; el elevado desarrollo vegetal trae consigo una mayor absorción de nutrientes, en particular nitrógeno.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que en los años 1998 y 2000 la recuperación de N está influenciada por el tratamiento de fertilización mineral, mientras en 1999 no está influenciada por la fertilización.

En 1998 la recuperación aparente de N es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el tratamiento M2 que en el M3; en 2000 este parámetro es significativamente mayor en el tratamiento M3 que en M1 y M2 (Figura 5.75). En general, la fertilización exclusivamente potásica conduce a bajas recuperaciones de nitrógeno.

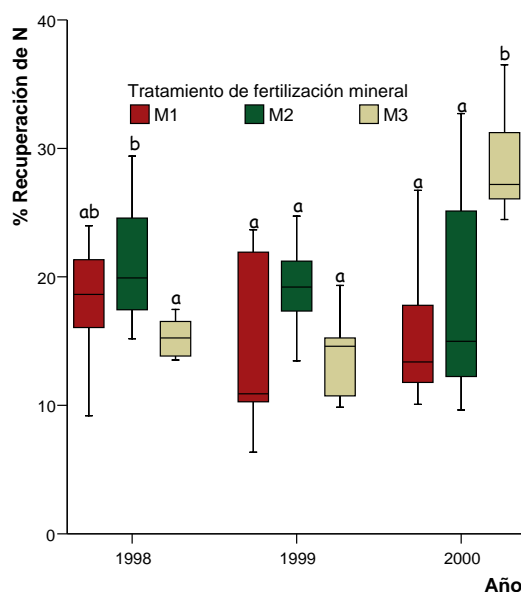
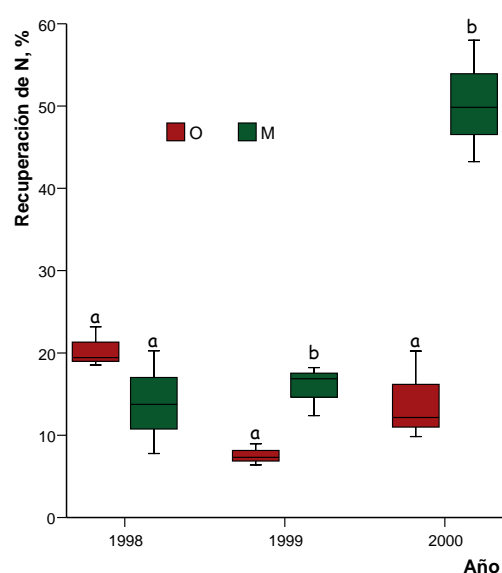


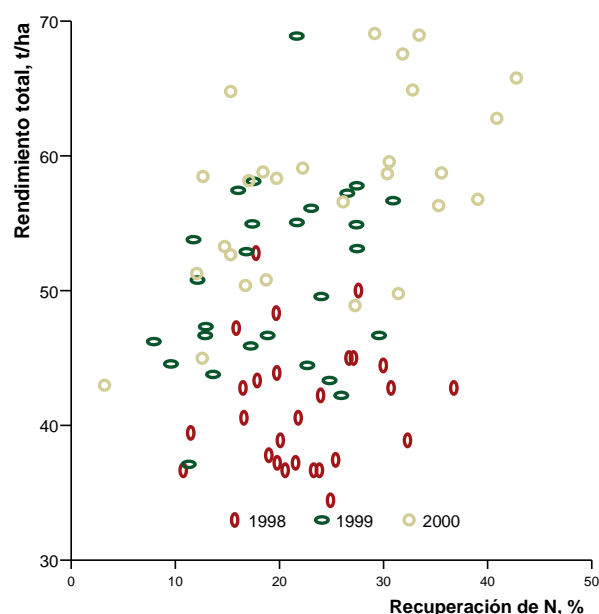
Figura 5.75.- Porcentaje de recuperación aparente del N en función del año y del tratamiento de fertilización mineral



La recuperación aparente del nitrógeno (Figura 5.76) en los años 1999 y 2000 es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el tratamiento exclusivamente mineral (M) que en el exclusivamente orgánico (O), lo que indica la mayor disponibilidad del nitrógeno mineral, como era de esperar. En 1998 no se diferencian significativamente los tratamientos O y M.

Figura 5.76.- Comparación de los porcentajes de recuperación aparente del N en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral para los tres años de ensayo

El aporte de fósforo y nitrógeno minerales parece ser, junto con las condiciones climáticas, el factor que más favorece la recuperación de este elemento por el cultivo, lo que debe relacionarse con su acción positiva sobre la mineralización del N orgánico.



La recuperación aparente del nitrógeno es un factor importante del rendimiento de la cosecha, como pone de manifiesto la correlación entre ambos parámetros ($r=0,356$; $p=0,001$; Figura 5.77). También Zvomuya *et al.* (2003) relacionan mejores rendimientos total y comercial con menores pérdidas de nitrato por lixiviación y mayores recuperaciones de nitrógeno.

Figura 5.77. Relación entre la recuperación del N, % y el rendimiento para los tres años de estudio

Recuperación aparente del fósforo

Los valores obtenidos para la recuperación aparente del fósforo se resumen en la Tabla 5.81:

Tabla 5.81.- Recuperación aparente del fósforo en el tubérculo

Recuperación aparente del fósforo (%)			
Año	Media	Mínimo	Máximo
1998	2,6 a	0,6	9,1
1999	4,2 b	1,6	14,7
2000	6,9 c	1,7	18,8

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

Los valores de recuperación aparente del P son bajos (Tabla 5.81) en relación con los de N y K. Este hecho está de acuerdo con la conocida facilidad del P aplicado como fertilizante para evolucionar hacia formas poco disponibles.

La recuperación aparente del P está afectada significativamente ($p<0,05$) por el año de estudio, siendo mayor en el año 2000 (Tabla 5.81), por la dosis de fertilización orgánica y por el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

Al analizar la influencia de la dosis de fertilización orgánica, la recuperación aparente del P más elevada corresponde a la dosis más baja de gallinaza, es decir, O1 significativamente diferente ($p < 0,05$) de la dosis más alta, O3 (Figura 5.78a). Este hecho indica una baja disponibilidad del P orgánico en relación con el P mineral.

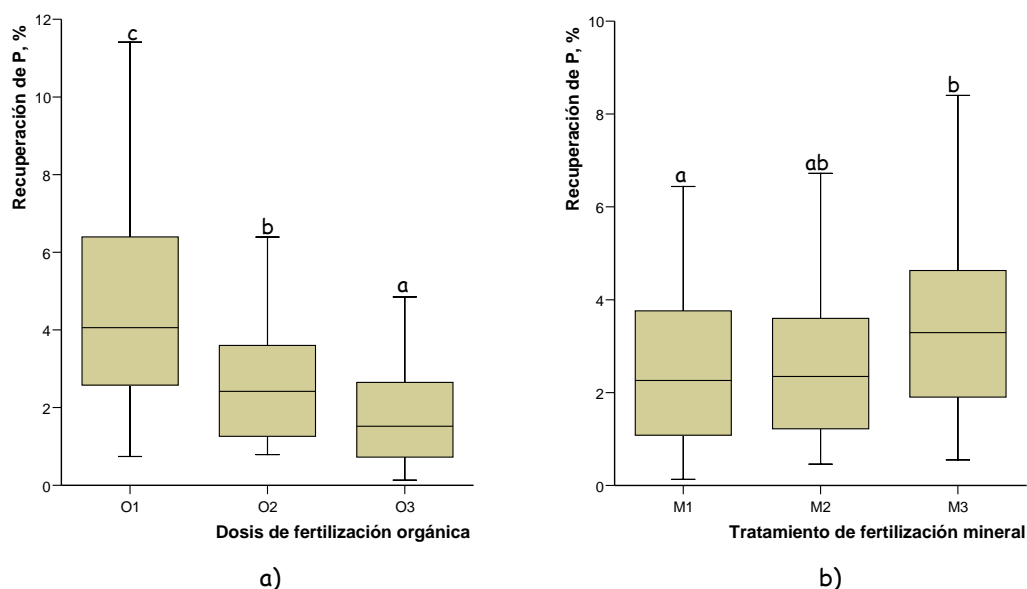
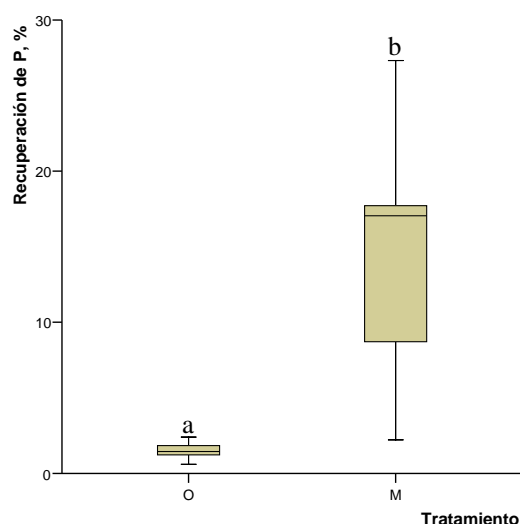


Figura 5.78.- Porcentaje de recuperación aparente del P en función de la dosis de fertilización orgánica (a) y del tratamiento de fertilización mineral (b)

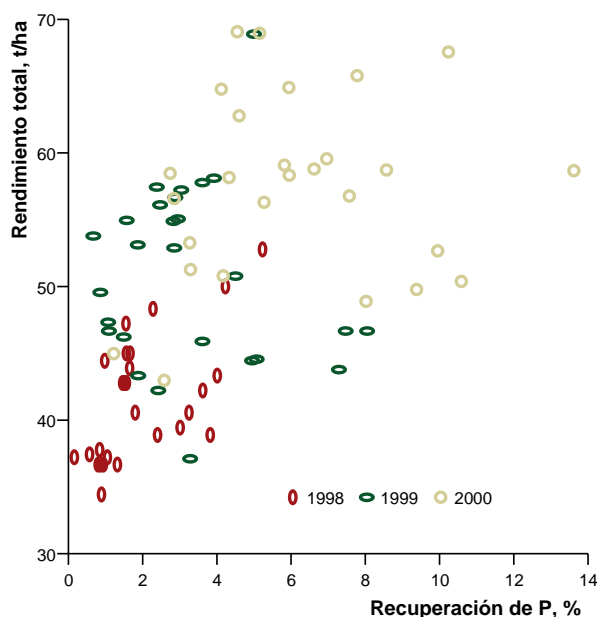
Al considerar la influencia del tratamiento de fertilización mineral, la recuperación aparente del P más elevada corresponde al tratamiento de fertilización mineral M3, significativamente diferente ($p < 0,05$) del tratamiento M1 (Figura 5.78b). Es decir, el aporte de N mineral favorece también la recuperación de P.



La recuperación aparente del fósforo presenta diferencias muy significativas ($p < 0,001$) entre los tratamientos exclusivamente mineral (M) y exclusivamente orgánico (O), indicando, aún más que en caso del nitrógeno, la mayor disponibilidad del fósforo mineral (Figura 5.79).

Figura 5.79.- Comparación del porcentaje de recuperación de P en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral

La recuperación aparente del fósforo se correlaciona significativamente con la de nitrógeno ($r=0,689$, $p=0,002$).



La recuperación aparente del fósforo es un factor importante del rendimiento de la cosecha, incluso más que la recuperación de nitrógeno, como pone de manifiesto la correlación entre ambos parámetros ($r=0,498$; $p<0,001$; Figura 5.80).

Figura 5.80.- Relación entre la recuperación aparente del P, % y el rendimiento para los tres años de estudio

Recuperación aparente del potasio

Los valores obtenidos para la recuperación aparente del potasio se resumen en la Tabla 5.82, siendo comparables a los de nitrógeno.

Tabla 5.82.- Recuperación aparente del potasio en el tubérculo

Recuperación aparente del potasio (%)			
Año	Media	Mínimo	Máximo
1998	14,2 a	5,8	22,8
1999	21,8 b	11,6	32,7
2000	19,3 b	9,2	44,7

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

La recuperación aparente del K está afectada significativamente ($p<0,05$) por el año de estudio, siendo significativamente mayor ($p<0,05$) en el año 1999 (Tabla 5.82), por la dosis de fertilización orgánica y por el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

Al analizar la influencia de la dosis de fertilización orgánica, la recuperación aparente de K más elevada corresponde a las dosis más bajas de gallinaza, es decir, O1 y O2

significativamente diferentes ($p < 0,05$) de la dosis más alta, O3, de forma similar a lo observado en el caso del P (Figura 5.81a).

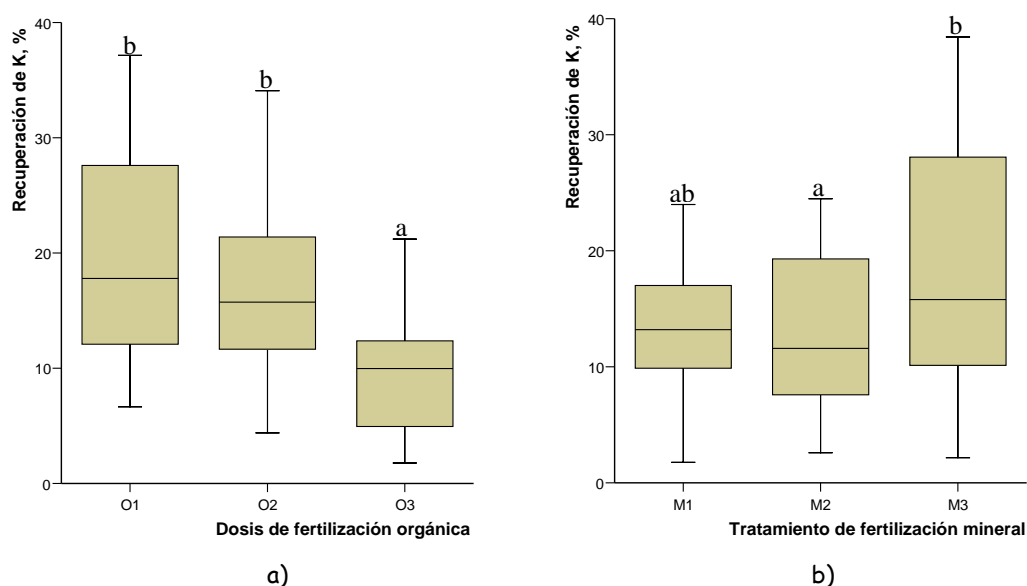
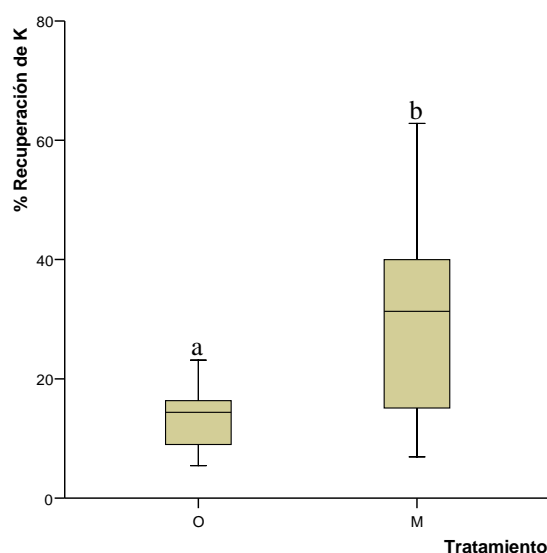


Figura 5.81.- Porcentaje de recuperación aparente del K en función de la dosis de fertilización orgánica y del tratamiento de fertilización mineral

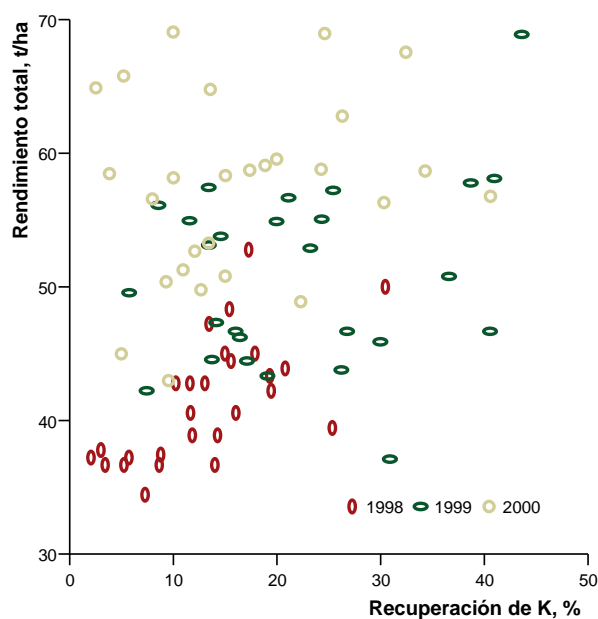
Al considerar la influencia del tratamiento de fertilización mineral, la recuperación aparente del K más elevada corresponde al tratamiento de fertilización mineral M3, significativamente diferente ($p < 0,05$) del tratamiento M2 (Figura 5.81b), indicando de nuevo la influencia favorable del nitrógeno sobre la disponibilidad de otros nutrientes.



La recuperación aparente del potasio, lo mismo que las de nitrógeno y fósforo, es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el tratamiento exclusivamente mineral (M) que en el exclusivamente orgánico (O), indicando la mayor disponibilidad del potasio mineral (Figura 5.82)

Figura 5.82.- Comparación del porcentaje de recuperación aparente del K en los tratamientos de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral

La recuperación aparente del potasio se correlaciona significativamente con las recuperaciones de nitrógeno ($r=0,763$, $p<0,001$) y fósforo ($r=0,766$, $p<0,001$).



La recuperación aparente del potasio presenta una correlación positiva con el rendimiento de la cosecha, si bien con menor grado de significación y menor coeficiente de determinación que en los casos de nitrógeno y fósforo ($r=0,302$; $p=0,006$; Figura 5.83).

Figura 5.83. Relación entre la recuperación aparente del K, % y el rendimiento, $t\ ha^{-1}$ para los tres años de estudio

Para los tres elementos puede decirse que las condiciones climáticas influyen decisivamente en la recuperación, que es mayor para nitrógeno y fósforo en 2000. En este año el cultivo recibe menor precipitación acumulada entre la plantación y el final de la tuberización, lo que comporta un menor riesgo de lixiviación, particularmente del nitrato. En el caso del fósforo, una menor humedad del suelo limitará la evolución de este elemento hacia formas difícilmente asimilables. Contrariamente al nitrógeno y al fósforo, la recuperación de potasio es mayor en 1999, el año de mayor precipitación acumulada en el período vegetativo; un mayor contenido de humedad del suelo favorecerá la absorción de potasio por la planta, lo que, unido al menor contenido de potasio en el suelo inicial en ese año, dará lugar a una mayor recuperación de este elemento. La mayor recuperación de nitrógeno y fósforo en 2000 está relacionada con el mayor rendimiento del cultivo en este año. Por otra parte, la aplicación de N mineral, al favorecer la mineralización de la materia orgánica, favorece también la recuperación de N, P y K.

Eficiencia del nitrógeno

Los valores obtenidos para la eficiencia del nitrógeno se resumen en la Tabla 5.83:

Tabla 5.83.- Eficiencia del nitrógeno

Eficiencia del nitrógeno, kg kg ⁻¹ N			
Año	Media	Mínimo	Máximo
1998	44,5 a	15,3	75,4
1999	60,7 b	34,2	87,6
2000	74,0 c	37,9	118,4

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

La eficiencia del N está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor en los años 2000 y 1999 que en el año 1998 (Tabla 5.83), de acuerdo con la menor concentración de nitrógeno inicial en el suelo en estos años. También la dosis de fertilización orgánica influye significativamente en la eficiencia del nitrógeno.

En cuanto a la dosis de fertilización orgánica, la eficiencia del N más elevada corresponde a la dosis más baja de gallinaza, es decir, O1 significativamente diferente ($p < 0,05$) de la dosis más alta, O3 (Figura 5.84). Asimismo la fertilización puramente mineral, M, da lugar a eficiencias significativamente superiores a las de la fertilización puramente orgánica, O (Figura 5.85). Estos hechos se relacionan con la menor disponibilidad del nitrógeno orgánico comparado con el nitrógeno mineral.

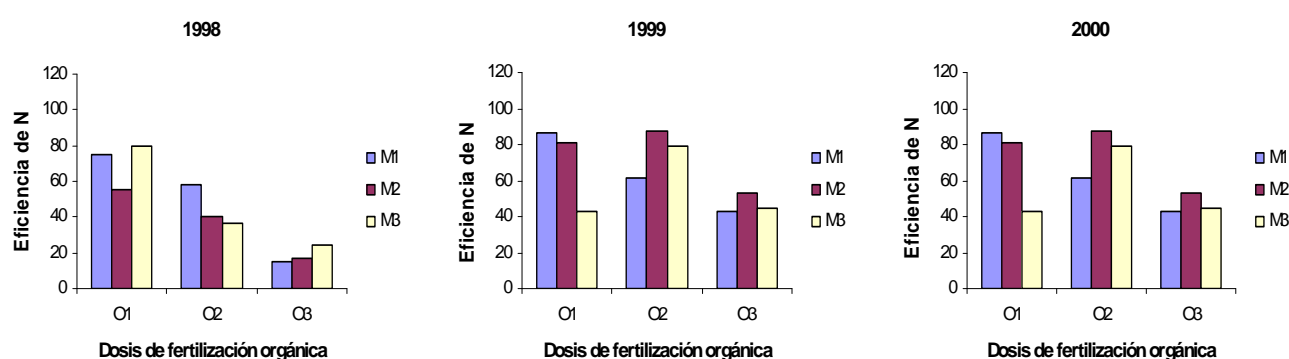


Figura 5.84.- Eficiencia del N para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio

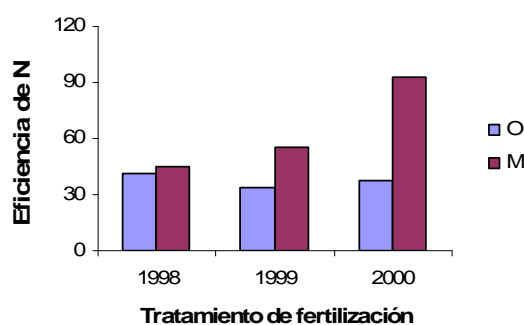


Figura 5.85.- Eficiencia del N para el tratamiento de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral en los tres años de estudio

Eficiencia del fósforo

Los valores obtenidos para la eficiencia del fósforo se resumen en la Tabla 5.84:

Tabla 5.84.- Eficiencia de fósforo

Año	Eficiencia del fósforo, kg kg ⁻¹ P		
	Media	Mínimo	Máximo
1998	52,4 a	12,9	172,8
1999	67,4 a	28,9	209,7
2000	89,8 b	32,0	353,4

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

La eficiencia del P está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, siendo mayor en el año 2000 que en 1998 y 1999 (lo mismo que la eficiencia del nitrógeno), y por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, no habiendo interacción entre dichos factores.

En cuanto a la dosis de fertilización orgánica, lo mismo que en el caso del nitrógeno, la eficiencia del P más elevada corresponde a la dosis más baja de gallinaza, es decir, O1, significativamente diferente ($p < 0,05$) de la dosis más alta, O3 (Figura 5.86). Asimismo la fertilización puramente mineral, M, da lugar a eficiencias significativamente superiores a las de la fertilización puramente orgánica, O (Figura 5.87). Queda de manifiesto la menor disponibilidad del fósforo orgánico comparado con el fósforo mineral.

En cuanto al tratamiento de fertilización mineral, la mayor eficiencia del P corresponde al tratamiento mineral M3, significativamente diferente ($p < 0,05$) de los tratamientos M1 y M2. Una vez más se pone de manifiesto la importancia del nitrógeno en la disponibilidad de otros elementos.

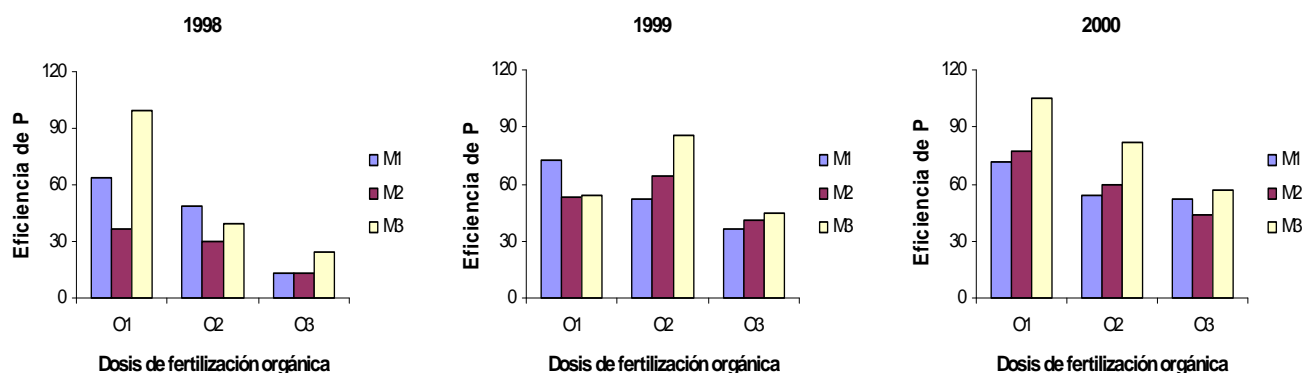


Figura 5.86. Eficiencia del P para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio

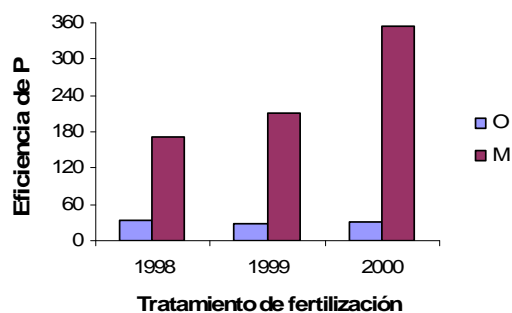


Figura 5.87.- Eficiencia del P para el tratamiento de fertilización exclusivamente orgánica y exclusivamente mineral en los tres años de estudio

Eficiencia del potasio

Los valores obtenidos para la eficiencia del potasio se resumen en la Tabla 5.85:

Tabla 5.85.- Eficiencia del potasio

Eficiencia del potasio, $\text{kg kg}^{-1} \text{K}_2\text{O}$			
Año	Media	Mínimo	Máximo
1998	25,7 a	9,0	38,4
1999	34,5 b	25,0	58,0
2000	42,6 c	29,1	66,9

Letras diferentes indican diferencias significativas entre años

La eficiencia del K, como las de fósforo y nitrógeno, está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, siendo mayor en los años 2000 y 1999 que en 1998. Asimismo está afectada por la dosis de fertilización orgánica y el tratamiento de fertilización mineral, habiendo interacción año x dosis de fertilización orgánica.

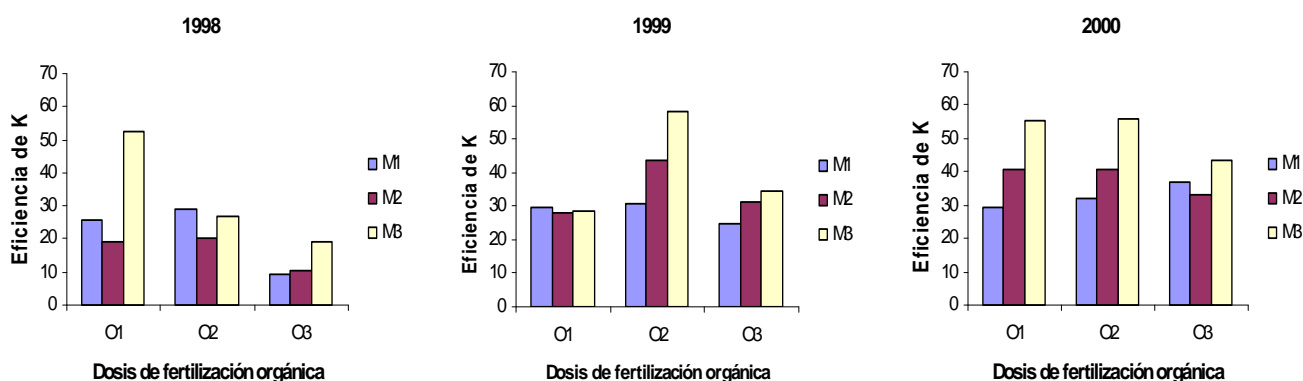


Figura 5.88.- Eficiencia del K para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio

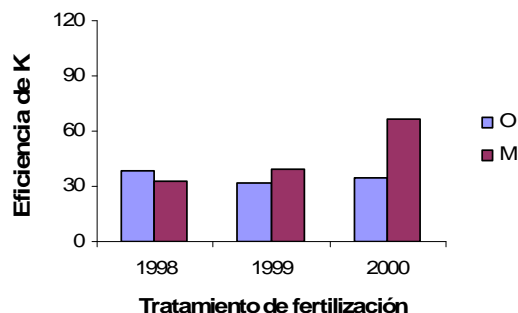


Figura 5.89.- Eficiencia del K para distintas dosis de fertilización orgánica y tratamientos de fertilización mineral en los tres años de estudio

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la eficiencia del K está influenciada por la dosis de fertilización orgánica en los años 1998 y 1999, no apreciándose diferencias significativas en 2000. En 1998 la eficiencia del potasio es significativamente ($p < 0,05$) mayor para las dosis O1 y O2 que para la dosis O3; en 1999 la mayor eficiencia del potasio corresponde a la dosis O2, siendo significativamente mayor que para las otras dos dosis (Figura 5.88). Asimismo la fertilización puramente mineral (M) da lugar a eficiencias significativamente superiores a las de la fertilización puramente orgánica, O (Figura 5.89). Estos hechos concuerdan con la menor disponibilidad del potasio orgánico comparado con el potasio mineral.

La eficiencia del K está influenciada por el tratamiento de fertilización mineral, correspondiendo la más elevada al tratamiento M3, significativamente diferente ($p < 0,05$) de los tratamientos M1 y M2 (Figura 5.88). Como en el caso del fósforo, se pone de manifiesto la importancia del nitrógeno en la disponibilidad del potasio.

5.3. ENSAYO DE FERTILIZACIÓN MINERAL

5.3.1. Suelo

pH

Los valores medios de pH del suelo en agua para los distintos tratamientos y fechas de muestreo se presentan en la Tabla 5.86 y los de pH en KCl en la Tabla 5.87.

Tabla 5.86.- Valores medios de pH en agua para las distintas fechas de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	pH en agua										
	1998			1999				2000			
	19 ddp 08/06	47 ddp 06/07	111 ddp 08/09	28 ddp 08/06	45 ddp 24/06	63 ddp 12/07	129 ddp 16/09	12 ddp 30/05	33 ddp 20/06	50 ddp 07/07	118 ddp 13/09
CONTROL	5,2	5,0	5,1	5,2	5,2	4,6	4,9	4,8	4,9	4,7	5,1
N1P1K1	5,1	5,2	5,2	4,9	4,8	4,5	4,6	4,7	5,0	4,7	4,9
N1P1K2	4,9	5,0	5,4	5,2	5,0	4,5	4,7	4,7	5,0	4,8	5,1
N1P1K3	5,1	5,1	5,3	5,2	n.d.	n.d.	4,8	5,1	n.d.	n.d.	5,4
N1P2K1	5,3	5,2	5,3	5,1	n.d.	n.d.	4,9	4,6	n.d.	n.d.	4,9
N1P2K2	5,2	5,1	5,1	4,8	n.d.	n.d.	4,6	4,8	n.d.	n.d.	5,0
N1P2K3	5,1	5,3	5,0	5,2	n.d.	n.d.	4,9	4,8	n.d.	n.d.	5,1
N2P1K1	4,8	5,0	5,5	4,8	n.d.	n.d.	4,4	4,1	n.d.	n.d.	4,7
N2P1K2	4,9	4,9	5,4	4,8	n.d.	n.d.	4,5	4,0	n.d.	n.d.	4,9
N2P1K3	4,9	5,1	5,8	5,3	n.d.	n.d.	5,0	4,8	n.d.	n.d.	5,3
N2P2K1	5,1	5,1	5,2	4,7	5,0	4,5	4,6	4,4	4,7	4,6	4,8
N2P2K2	5,0	4,9	5,4	4,9	4,9	4,4	4,6	4,4	4,8	4,7	5,0
N2P2K3	4,9	5,2	5,4	5,1	n.d.	n.d.	4,8	4,7	n.d.	n.d.	5,2
N3P1K1	4,9	5,1	5,0	4,6	n.d.	n.d.	4,4	4,8	n.d.	n.d.	4,8
N3P1K2	5,2	5,0	5,2	4,9	n.d.	n.d.	4,5	4,7	n.d.	n.d.	5,0
N3P1K3	5,0	5,0	5,0	5,2	n.d.	n.d.	4,8	4,3	n.d.	n.d.	5,3
N3P2K1	5,0	5,0	5,0	5,0	n.d.	n.d.	4,6	4,5	n.d.	n.d.	5,0
N3P2K2	4,6	4,8	5,2	4,9	n.d.	n.d.	4,5	4,6	n.d.	n.d.	4,9
N3P2K3	5,1	5,0	5,1	5,3	5,0	4,7	4,7	4,5	4,9	4,8	5,2

Los valores de pH en agua, se encuentran con frecuencia por debajo del rango óptimo (5,5-6,5) especificado para producción de patata por Alonso Arce (1996) y en la mayoría de los casos dentro del rango de 4,5-7,0 señalado por Porta *et al.* (1994). Un 20% de los valores se encuentran dentro del intervalo de 5,2-5,6 propuesto por Lema como óptimo para el cultivo de la patata. En la práctica totalidad de los casos el pH en agua es inferior a 5,5, adecuado para evitar la incidencia de sarna común.

El pH en KCl, (Tabla 5.87) presenta valores entre 0 y 0,8 unidades inferiores a los de pH en agua.

Tabla 5.87.- Valores medios de pH en KCl 0,1 M para las distintas fechas de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	pH en KCl											
	1998			1999				2000				
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp	
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09	
CONTROL	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,1	4,1	4,3	4,4	4,5	4,5	
N1P1K1	4,9	4,8	4,8	4,1	4,3	4,0	3,9	3,9	4,3	4,3	4,5	
N1P1K2	4,7	4,7	5,1	4,7	4,6	4,1	4,1	4,2	4,4	4,5	4,7	
N1P1K3	4,9	4,9	4,9	4,8	n.d.	n.d.	4,4	4,9	n.d.	n.d.	5,1	
N1P2K1	5,0	4,9	4,8	4,6	n.d.	n.d.	4,3	4,3	n.d.	n.d.	4,6	
N1P2K2	5,0	4,7	4,9	4,5	n.d.	n.d.	4,2	4,1	n.d.	n.d.	4,6	
N1P2K3	4,7	4,9	4,5	4,8	n.d.	n.d.	4,5	4,5	n.d.	n.d.	4,9	
N2P1K1	4,8	4,6	5,1	4,2	n.d.	n.d.	3,8	3,5	n.d.	n.d.	4,4	
N2P1K2	4,7	4,6	5,0	4,2	n.d.	n.d.	3,9	4,2	n.d.	n.d.	4,6	
N2P1K3	4,8	4,7	5,4	4,9	n.d.	n.d.	4,5	4,6	n.d.	n.d.	5,0	
N2P2K1	5,0	4,8	4,9	4,2	4,6	4,2	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	
N2P2K2	4,7	4,5	5,0	4,5	4,6	4,2	4,1	4,3	4,5	4,4	4,7	
N2P2K3	4,9	4,8	5,0	4,7	n.d.	n.d.	4,3	4,1	n.d.	n.d.	4,8	
N3P1K1	4,7	4,7	4,6	4,2	n.d.	n.d.	3,9	4,2	n.d.	n.d.	4,5	
N3P1K2	5,0	4,5	4,8	4,3	n.d.	n.d.	4,0	4,4	n.d.	n.d.	4,7	
N3P1K3	4,9	4,8	4,6	4,8	n.d.	n.d.	4,4	4,2	n.d.	n.d.	5,0	
N3P2K1	4,8	4,8	4,6	4,5	n.d.	n.d.	4,1	4,4	n.d.	n.d.	4,6	
N3P2K2	4,5	4,5	4,9	4,4	n.d.	n.d.	4,0	4,2	n.d.	n.d.	4,7	
N3P2K3	4,9	4,6	4,7	4,8	4,7	4,4	4,3	4,4	4,4	4,6	4,9	

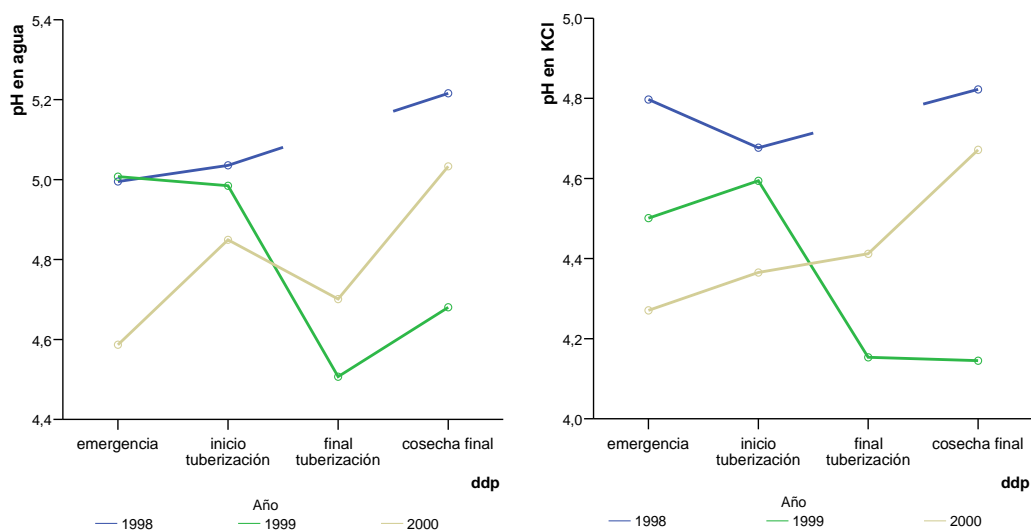


Figura 5.90.- Valores de pH en agua y en KCl para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

Los datos de pH en agua y KCl están afectados significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fecha de muestreo, el abonado nitrogenado y el abonado potásico, habiendo interacciones año x fecha y año x fertilización nitrogenada. Los valores de pH en agua y en KCl son significativamente mayores en el año 1998, que en 1999 y 2000 (Figura 5.90). Estos mayores valores en 1998 se relacionan con el relativamente elevado pH del suelo inicial y con la limitada precipitación. En 1999, en que las precipitaciones fueron muy intensas en el

período de ensayo, se observa el mayor descenso de pH entre la primera y la última fecha de muestreo.

En cuanto a la fecha, da lugar a variaciones en el pH en agua y en KCl, sin que se observe una tendencia consistente en los tres años de ensayo. Estas variaciones deben atribuirse a en primer lugar a posibles pérdidas de cationes por lixiviación relacionadas con la intensidad de la precipitación; asimismo pueden estar relacionadas con diferentes intensidades de absorción de cationes y aniones por parte de la planta, o bien con variaciones en la intensidad de los procesos de mineralización de la materia orgánica o de nitrificación.

La aplicación de potasio hasta 300 kg K₂O ha⁻¹ da lugar a un descenso del pH en agua (Tabla 5.88) que aumenta de nuevo con la aplicación de 450 kg K₂O ha⁻¹. En cuanto al pH en KCl, es significativamente mayor para la aplicación de 450 kg K₂O ha⁻¹ que para los otros tratamientos. El incremento de la fertilización nitrogenada da lugar en 1999 y 2000 a una disminución significativa (p<0,05) del pH en agua, pero no del pH en KCl (Tabla 5.89).

Tabla 5.88.- Diferencias significativas según el abonado potásico para el pH en agua y en KCl

POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	pH en agua	pH en KCl
0	4,99 b	4,48 a
150	4,85 a	4,47 a
300	4,86 a	4,49 a
450	5,02 b	4,69 b

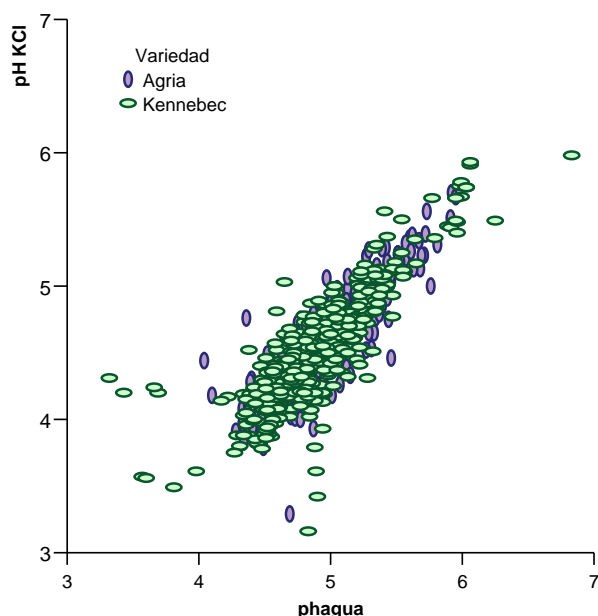
Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre niveles de K

Tabla 5.89.- Diferencias significativas según las dosis de nitrógeno para el pH en agua y en KCl

	NITRÓGENO, kg ha ⁻¹	pH en agua	pH en KCl
1999	0	4,99 b	4,30 a
	130	4,86 ab	4,38 a
	180	4,73 a	4,27 a
	230	4,78 a	4,33 a
2000	0	4,89 b	4,42 a
	130	4,89 b	4,47 a
	180	4,68 a	4,38 a
	230	4,80 ab	4,50 a

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre niveles de N

La disminución del pH en agua con la fertilización podría atribuirse a un mayor crecimiento vegetal en los tratamientos más fertilizados, que llevaría consigo una mayor absorción por la planta de cationes alcalinos y alcalinotérreos. Asimismo, la mayor fertilización propiciará una mayor actividad biológica y, consecuentemente, mayor



intensidad de los procesos de mineralización de la materia orgánica y de nitrificación, ambos generadores de acidez. Por otra parte, el K^+ puede desplazar al Al^{3+} del complejo de cambio, dando lugar a una acidificación de la disolución del suelo.

Existe una correlación positiva (significativa al nivel 0,01) entre los valores del pH en agua y los del pH en KCl 0,1 M (Figura 5.91).

Figura 5.91.- Relación entre el pH en agua y el pH en KCl

Se han encontrado correlaciones significativas ($p < 0,01$) del pH en agua y el pH en KCl con distintos parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.90.

Tabla 5.90.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del pH en agua y pH en KCl con distintos parámetros del suelo

	pH en agua	pH en KCl
pH en agua		0,819**
pH en KCl	0,819**	
Amonio	-0,128**	-0,128**
Nitrato	-0,173**	
Nitrógeno total	0,208**	0,227**
Relación C/N	-0,285**	-0,308**
P Olsen	-0,460**	-0,437**
P Mehlich 3	0,213**	0,318**
Potasio de cambio	0,227*	0,288**
Calcio de cambio	0,440**	0,573**
Magnesio de cambio	0,265**	0,285**
CICe	0,418**	0,510**
Hierro disponible (Mehlich 3)	-0,364**	-0,456**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Se observa una correlación negativa con la concentración de nitrato, lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, lo que puede relacionarse con que el proceso de nitrificación genera acidez. Pero, a diferencia de aquél, la correlación con el nitrógeno total es positiva. Esta correlación y la correlación negativa con la relación C/N podrían indicar la mejor evolución de la materia orgánica a pH más elevado. La correlación positiva con la capacidad de intercambio catiónico efectiva refleja el carácter de la carga variable del suelo. Las concentraciones de calcio y potasio de cambio son mayores a mayores valores de pH, como es habitual. Las correlaciones con el P asimilable se discuten más adelante. Por último, es bien conocida la menor disponibilidad del hierro a pH elevado.

Carbono total

La concentración de carbono se determinó en los muestreos del 8 de Junio, 6 de Julio y 8 de Septiembre del año 1998; el 8 de Junio de 1999 y el 30 de Mayo del año 2000 (Tabla 5.91).

Tabla 5.91.- Porcentajes medios de carbono total a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Carbono total (%)				
	1998			1999	2000
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	12 ddp
	08/06/98	06/07/98	08/09/98	08/06/99	30/05/00
CONTROL	1,6	1,6	1,8	1,5	1,5
N1P1K1	1,7	1,7	1,8	1,5	1,8
N1P1K2	1,9	1,7	1,8	1,5	1,7
N1P1K3	1,7	1,5	1,8	1,7	1,7
N1P2K1	1,8	1,7	1,8	1,6	1,6
N1P2K2	1,6	1,6	1,7	1,4	1,7
N1P2K3	1,6	1,5	1,7	1,7	1,5
N2P1K1	1,8	1,8	1,6	1,5	1,6
N2P1K2	1,9	1,8	1,9	1,5	1,8
N2P1K3	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8
N2P2K1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6
N2P2K2	1,6	1,5	1,6	1,4	1,7
N2P2K3	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6
N3P1K1	1,8	1,8	1,7	1,4	1,7
N3P1K2	1,8	1,7	2,0	1,4	1,8
N3P1K3	1,7	1,6	1,7	n.d	n.d
N3P2K1	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5
N3P2K2	1,6	1,5	1,8	n.d	n.d
N3P2K3	1,6	1,5	1,8	1,8	1,4

El porcentaje de carbono está afectado significativamente por el año, la fecha de muestreo, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, no habiendo interacción entre dichos factores. Los porcentajes de carbono en la primera fecha de muestreo son

significativamente ($p < 0,05$) mayores en 1998 que en 1999, presentando un valor intermedio en 2000.

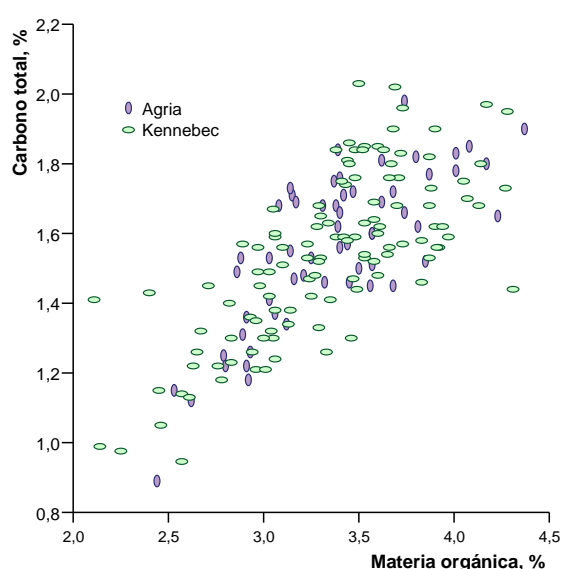
En 1998, el porcentaje de carbono disminuye ligeramente entre la emergencia y el inicio de la tuberización, para volver a aumentar al final del ciclo.

El análisis de la influencia de la fertilización fosfatada pone de manifiesto que los porcentajes más elevados de carbono corresponden a la dosis P1, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control (Tabla 5.92). El análisis de la influencia de la fertilización potásica pone de manifiesto que los porcentajes más elevados de carbono corresponden a la dosis K1, significativamente diferente ($p < 0,05$) del control (Tabla 5.92).

Tabla 5.92.- Diferencias significativas en el porcentaje de carbono según las dosis de abonado

	Carbono, %
FÓSFORO, kg P_2O_5 ha ⁻¹	
0	1,59 a
100	1,68 b
200	1,62 ab
POTASIO, kg K_2O ha ⁻¹	
0	1,59 a
150	1,68 b
300	1,66 ab
450	1,61 ab

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de fertilización



Existe una correlación positiva (Figura 5.92) entre los porcentajes de materia orgánica (pérdida por ignición) y carbono total ($r = 0,739$, $p < 0,0001$).

Figura 5.92. Relación entre el % de Carbono y el % de Materia orgánica

Se han encontrado correlaciones significativas ($p < 0,01$) del porcentaje de carbono con distintos parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.93.

Tabla 5.93.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de carbono total con distintos parámetros del suelo

	Carbono
P Mehlich 3	0,189**
Nitrógeno total	0,654**
Calcio de cambio	0,275**
Magnesio de cambio	0,376**
CICe	0,277**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

Nitrógeno total

Se estudian a continuación, en los muestreos del 8 de Junio, 6 de Julio, 8 de Septiembre de 1998, en el muestreo 08/06/99 y en el muestreo del 30/05/00, los niveles de nitrógeno total para los distintos tratamientos (Tabla 5.94).

Tabla 5.94.- Concentraciones medias de nitrógeno total (%) a lo largo del ciclo del cultivo para la variedad Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Nitrógeno total (%)				
	1998			1999	2000
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	12 ddp
	08/06/98	06/07/98	08/09/98	08/06/99	30/05/00
CONTROL	0,11	0,11	0,11	0,09	0,08
N1P1K1	0,12	0,13	0,15	n.d	n.d
N1P1K2	0,13	0,12	0,13	0,10	0,09
N1P1K3	0,11	0,12	0,12	n.d	n.d
N1P2K1	0,12	0,13	0,13	0,13	0,09
N1P2K2	0,12	0,11	0,11	n.d	n.d
N1P2K3	0,11	0,11	0,14	0,11	0,08
N2P1K1	0,13	0,14	0,15	n.d	n.d
N2P1K2	0,12	0,16	0,15	0,10	0,09
N2P1K3	0,11	0,12	0,15	n.d	n.d
N2P2K1	0,13	0,12	0,16	0,12	0,09
N2P2K2	0,12	0,12	0,11	n.d	n.d
N2P2K3	0,14	0,11	0,10	0,11	0,10
N3P1K1	0,13	0,15	0,15	n.d	n.d
N3P1K2	0,13	0,13	0,17	0,10	0,10
N3P1K3	0,13	0,14	0,15	n.d	n.d
N3P2K1	0,13	0,14	0,15	0,10	0,09
N3P2K2	0,12	0,12	0,13	n.d	n.d
N3P2K3	0,12	0,13	0,12	0,13	0,09

El porcentaje de nitrógeno total está afectado significativamente por el año, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización

potásica, no habiendo interacción entre dichos factores. Los porcentajes de nitrógeno total en la primera fecha de muestreo son significativamente mayores ($p < 0,05$) en 1998 que en 1999 y 2000, de acuerdo con las concentraciones en el suelo inicial.

En el año 1998 la fecha de muestreo tiene un efecto significativo sobre el nivel de nitrógeno total. Se observa un ligero aumento tras el primer muestreo (Tabla 5.94).

Los análisis de la influencia de la fertilización nitrogenada, fosfatada y potásica en la fecha de la emergencia ponen de manifiesto únicamente diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las parcelas control (que presentan menores concentraciones de N) y las que recibieron fertilización, no apreciándose diferencias entre los distintos niveles de fertilización N, P o K. Sin embargo, analizando las tres fechas de 1998 se observa un incremento significativo de la concentración de nitrógeno al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada.

El nitrógeno total está correlacionado significativamente ($p < 0,01$) con distintos parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.95.

Tabla 5.95.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de nitrógeno total con distintos parámetros del suelo

	Nitrógeno total
pH en agua	0,208**
pH en KCl	0,227**
P Mehlich 3	0,368**
% Carbono total	0,654**
Potasio de cambio	0,092*
Calcio de cambio	0,401**
Magnesio de cambio	0,315**
CICe	0,421**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Relación carbono/nitrógeno

A partir del carbono total y del nitrógeno total, parámetros estudiados en los tres muestreos del año 1998 y en uno de los muestreos de los años 1999 y 2000 ya indicados, se obtienen los valores de la relación carbono/nitrógeno para los diferentes tratamientos en cada una de las fechas (Tabla 5.96).

Tabla 5.96.- Relación carbono/nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Relación C/N				
	1998			1999	2000
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	12 ddp
	08/06/98	06/07/98	08/09/98	08/06/99	30/05/00
CONTROL	14,7	14,6	13,3	16,8	17,9
N1P1K1	13,9	12,7	13,0	n.d	n.d
N1P1K2	14,9	13,5	13,5	10,5	18,2
N1P1K3	15,2	12,2	10,9	n.d	n.d
N1P2K1	13,8	12,3	13,6	15,6	16,9
N1P2K2	13,8	13,8	11,7	n.d	n.d
N1P2K3	14,5	11,1	12,5	15,5	15,9
N2P1K1	13,7	12,5	12,9	n.d	n.d
N2P1K2	15,6	11,4	9,9	14,9	19,1
N2P1K3	15,0	10,3	12,3	n.d	n.d
N2P2K1	14,0	11,4	13,8	15,7	18,2
N2P2K2	13,8	12,9	13,0	n.d	n.d
N2P2K3	12,4	14,9	14,0	14,8	15,0
N3P1K1	13,6	11,9	13,6	n.d	n.d
N3P1K2	13,6	10,4	13,6	14,9	18,1
N3P1K3	13,5	10,9	10,4	n.d	n.d
N3P2K1	12,8	11,4	13,7	15,5	17,3
N3P2K2	13,6	12,3	12,5	n.d	n.d
N3P2K3	14,1	12,9	12,4	14,2	16,6

La relación carbono/nitrógeno está afectada significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, no habiendo interacciones entre dichos factores. Las relaciones C/N en la primera fecha de muestreo presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre años, variando en el orden 1998 < 1999 < 2000, lo mismo que las relaciones en el suelo inicial.

En 1998, la relación C/N disminuye desde la emergencia hasta la cosecha final, de acuerdo con el aumento de la concentración de nitrógeno.

En cuanto a la fertilización, su influencia sobre la relación C/N es opuesta a la influencia sobre la concentración de nitrógeno.

Nitrato y amonio

Las concentraciones de nitrato y de amonio en el suelo varían en amplios rangos a lo largo del periodo de cultivo, como se puede ver en las Tablas 5.97 y 5.98.

Tabla 5.97.- Concentraciones medias de nitrato (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Nitrato (mg kg^{-1})											
	1998			1999				2000				
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp	
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09	
CONTROL	13,3	3,4	8,8	18,4	16,3	43,7	16,5	44,6	47,2	40,0	20,1	
N1P1K1	61,9	37,9	11,7	28,3	26,0	52,6	20,4	42,1	39,2	46,3	19,8	
N1P1K2	60,4	39,6	30,5	30,9	27,0	70,9	19,3	35,2	42,3	51,3	21,0	
N1P1K3	32,5	16,3	4,9	31,6	n.d.	n.d.	16,4	44,9	n.d.	n.d.	19,8	
N1P2K1	60,3	34,8	19,3	33,1	n.d.	n.d.	17,4	42,8	n.d.	n.d.	20,6	
N1P2K2	64,1	41,7	13,9	34,5	n.d.	n.d.	50,2	39,0	n.d.	n.d.	18,4	
N1P2K3	47,5	25,9	7,6	33,1	n.d.	n.d.	16,2	42,0	n.d.	n.d.	19,6	
N2P1K1	71,1	39,6	13,3	54,8	n.d.	n.d.	20,2	36,3	n.d.	n.d.	33,1	
N2P1K2	86,6	55,2	23,7	43,1	n.d.	n.d.	21,9	36,6	n.d.	n.d.	32,9	
N2P1K3	46,4	29,3	8,5	26,4	n.d.	n.d.	19,2	41,0	n.d.	n.d.	31,2	
N2P2K1	61,7	37,3	11,2	38,3	28,4	69,8	23,3	41,4	55,1	52,7	38,5	
N2P2K2	59,9	39,7	13,0	46,8	19,4	117,4	44,0	39,8	42,5	44,4	42,5	
N2P2K3	59,7	37,7	10,5	37,1	n.d.	n.d.	17,2	39,0	n.d.	n.d.	27,9	
N3P1K1	114,4	66,5	28,3	42,5	n.d.	n.d.	21,1	44,6	n.d.	n.d.	30,2	
N3P1K2	110,6	47,8	21,6	54,1	n.d.	n.d.	24,9	41,2	n.d.	n.d.	26,5	
N3P1K3	88,4	59,3	17,9	47,2	n.d.	n.d.	13,6	48,6	n.d.	n.d.	25,0	
N3P2K1	100,4	68,5	16,8	54,6	n.d.	n.d.	21,8	50,5	n.d.	n.d.	37,6	
N3P2K2	44,7	27,2	7,0	48,6	n.d.	n.d.	31,5	55,5	n.d.	n.d.	15,1	
N3P2K3	59,8	44,1	11,9	44,6	18,0	49,3	26,1	51,4	31,0	28,8	24,1	

Tabla 5.98.- Concentraciones medias de amonio (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Amonio (mg kg^{-1})											
	1998			1999				2000				
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp	
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09	
CONTROL	32,1	12,0	16,1	52,7	41,8	24,7	31,1	35,8	31,5	21,6	14,7	
N1P1K1	34,5	22,3	14,4	39,7	35,4	30,0	17,6	25,2	34,0	21,7	17,5	
N1P1K2	41,8	24,7	18,0	38,3	70,4	39,5	22,7	26,7	31,6	24,1	17,8	
N1P1K3	27,7	19,5	12,0	58,1	n.d.	n.d.	35,7	38,1	n.d.	n.d.	16,1	
N1P2K1	35,2	23,6	16,4	45,6	n.d.	n.d.	31,9	32,3	n.d.	n.d.	22,5	
N1P2K2	39,3	28,7	15,3	31,6	n.d.	n.d.	47,9	32,0	n.d.	n.d.	19,8	
N1P2K3	28,3	18,8	14,6	53,8	n.d.	n.d.	31,9	29,2	n.d.	n.d.	15,6	
N2P1K1	39,5	25,4	13,7	56,7	n.d.	n.d.	26,8	33,1	n.d.	n.d.	20,3	
N2P1K2	70,1	41,5	17,0	57,0	n.d.	n.d.	31,2	32,3	n.d.	n.d.	17,7	
N2P1K3	21,4	18,3	11,8	37,3	n.d.	n.d.	30,5	24,0	n.d.	n.d.	18,9	
N2P2K1	31,1	19,2	12,2	42,3	45,1	31,7	33,2	25,2	34,6	26,5	25,4	
N2P2K2	68,7	42,4	28,0	47,2	41,1	43,2	42,4	34,7	31,2	18,9	15,6	
N2P2K3	41,7	24,9	12,8	33,6	n.d.	n.d.	43,4	35,3	n.d.	n.d.	20,1	
N3P1K1	44,9	35,8	20,6	52,9	n.d.	n.d.	26,3	50,0	n.d.	n.d.	19,8	
N3P1K2	40,9	51,7	17,2	61,9	n.d.	n.d.	26,8	35,0	n.d.	n.d.	18,5	
N3P1K3	50,2	29,9	19,3	46,8	n.d.	n.d.	28,2	22,3	n.d.	n.d.	16,1	
N3P2K1	84,6	49,3	20,4	51,0	n.d.	n.d.	39,2	49,2	n.d.	n.d.	20,6	
N3P2K2	39,0	21,3	12,6	56,2	n.d.	n.d.	35,2	55,8	n.d.	n.d.	13,2	
N3P2K3	56,3	25,3	15,7	56,5	46,3	38,5	41,0	38,9	31,7	31,3	19,2	

Las concentraciones de nitrato y amonio están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica. Para la concentración de nitrato, existen interacciones del año con la fecha y con las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, así como entre los distintos tipos de fertilización. Para la concentración de amonio se observan interacciones del año

con la fecha y con las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio y entre fertilización nitrogenada y fertilización potásica.

La concentración de nitrato es significativamente ($p<0,05$) menor en 1999, exceptuando la fecha de final de la tuberización (Figura 5.93). Por el contrario, la concentración de amonio es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1999 que en 1998 y 2000 (Figura 5.93).

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de nitrato está influenciada significativamente ($p<0,05$) por la fecha, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica en los años 1998 y 1999, y en el año 2000 sólo por la fecha de estudio. La concentración de amonio está influenciada significativamente ($p<0,05$) por la fecha de muestreo en los tres años de estudio y en 1998 por la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica.

A lo largo del ciclo del cultivo se presentan diferencias significativas ($p<0,05$) entre fechas, tanto en la concentración de nitrato como en la concentración de amonio, descendiendo estas concentraciones a lo largo del ciclo, presentando ambos un nivel mínimo en la parte final del ciclo en cualquiera de los tres años, 1998, 1999 y 2000 (Figura 5.93), debido, en el caso del nitrato, a la absorción por parte del cultivo, y posiblemente además a pérdidas por lixiviación, sobre todo en la última fase (las lluvias en agosto y septiembre en 1998 y 1999 fueron casi el doble que en un año normal en Xinzo (Tabla 5.1). La disminución de la concentración de amonio (Figura 5.93) debe atribuirse principalmente a la nitrificación.

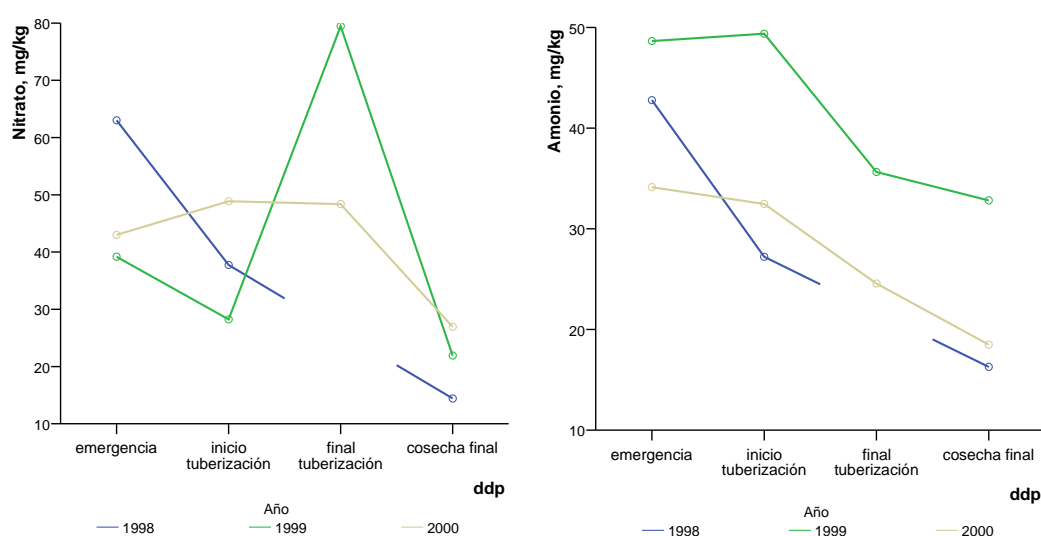


Figura 5.93.- Concentraciones de nitrato y amonio (mg kg⁻¹) para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

En 1998, la concentración de nitrato aumenta al hacerlo la fertilización nitrogenada. En cuanto a las fertilizaciones fosfatada y potásica, la máxima concentración de nitrato corresponde a 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ y a 150 kg K_2O ha⁻¹ (Tabla 5.99). En 1999, la concentración de nitrato es menor en la parcelas control que en la parcelas fertilizadas, que no se diferencian significativamente entre sí. En 2000 la fertilización no influye significativamente en la concentración de nitrato. Esta ausencia de efecto significativo se relaciona con el mayor rendimiento y mayor absorción de nitrato por el cultivo en ese año.

Tabla 5.99.- Diferencias significativas en la concentración de nitrato según las dosis de abonado en los tres años de ensayo

	Nitrato, mg kg ⁻¹		
NITRÓGENO, kg ha ⁻¹	1998	1999	2000
0	7,9 a	20,2 a	36,2 a
130	34,5 b	33,1 b	34,1 a
180	39,1 c	38,1 b	40,0 a
230	53,1 d	41,2 b	41,3 a
FÓSFORO, kg P_2O_5 ha ⁻¹	1998	1999	2000
0	7,9 a	20,2 a	35,9 a
100	45,6 c	34,6 b	36,2 a
200	38,8 b	39,4 b	40,2 a
POTASIO, kg K_2O ha ⁻¹	1998	1999	2000
0	7,9 a	20,2 a	36,2 a
150	49,5 d	35,1 b	40,4 a
300	41,9 c	42,1 b	36,3 a
450	35,1 b	34,5 b	38,4 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de N, P o K

En la fecha de la cosecha final, la concentración de nitrato residual está influenciada en 1998 por la fertilización nitrogenada, fosfatada y potásica, en 1999 por la fertilización potásica y en 2000 por la fertilización nitrogenada y potásica (Tabla 5.100). Elevados aportes de nitrógeno dan lugar, como es previsible, a mayores valores del nitrato residual, pero también los aportes de fósforo y potasio influyen en este parámetro. Este hecho pone de manifiesto interacciones entre los distintos elementos nutritivos. En particular, dosis elevadas de fertilización potásica dan lugar a menores concentraciones de nitrato residual, lo que podría relacionarse con el mayor rendimiento de la cosecha con estos elevados aportes de potasio.

Tabla 5.100.- Diferencias significativas en la concentración de nitrato según las dosis de abonado en los tres años de ensayo en la última fecha (cosecha final)

NITRÓGENO, kg ha ⁻¹	Nitrato, mg kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	8,8 a	-	19,8 a
130	13,7 ab	-	20,5 a
180	13,4 ab	-	33,9 b
230	17,8 b	-	28,3 ab
FÓSFORO, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	1998	1999	2000
0	8,8 a	-	-
100	17,7 b	-	-
200	12,2 ab	-	-
POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	1998	1999	2000
0	-	16,5 a	19,8 a
150	-	20,7 ab	30,7 b
300	-	29,2 b	26,7 ab
450	-	17,0 a	25,2 ab

En 1998, la concentración de amonio, como la de nitrato, aumenta al hacerlo la fertilización nitrogenada. En cuanto a la fertilización fosfatada, no hay diferencias significativas entre las dosis de 100 y 200 kg P₂O₅ ha⁻¹. Por lo que se refiere al potasio, las dosis intermedias (150 y 300 kg K₂O ha⁻¹) dan lugar a las mayores concentraciones de amonio (Tabla 5.101).

Tabla 5.101.- Diferencias significativas en la concentración de amonio según las dosis de abonado en 1998

Amonio, mg kg ⁻¹					
NITRÓGENO, kg ha ⁻¹		FÓSFORO, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹		POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	
0	19,6 a	0	19,6 a	0	19,6 a
130	24,2 b	100	29,0 b	150	30,4 c
180	30,1 c	200	31,0 b	300	34,4 c
230	35,7 d			450	25,3 b

Las concentraciones de nitrato y amonio están correlacionadas significativamente entre sí y con los parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.102.

Tabla 5.102.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del nitrato y del amonio con distintos parámetros del suelo

	Nitrato	Amonio
pH en agua	-0,17**	-0,128**
P Olsen	0,250**	0,258**
Nitrato		0,469**
Amonio	0,469**	
Calcio de cambio	0,144**	-0,140**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

Fósforo asimilable (Olsen y Mehlich 3)

Las concentraciones de fósforo asimilable son muy elevadas durante todo el ciclo del cultivo (Tablas 5.103 y 5.104), incluso en las parcelas sin fertilizar. Lema (1996) indica que para el cultivo de patata los suelos tienen reservas suficientes con concentraciones de P Olsen superiores a 25 mg kg⁻¹. Para el fósforo Mehlich 3 se establece, para cultivos en general, un valor crítico de 30 mg dm⁻³ (Mehlich, 1984), que equivaldrían en este suelo concreto a 25 mg kg⁻¹. Las concentraciones de P Olsen y Mehlich 3 indican que no se presentarán problemas por déficit de este elemento. Estas altas concentraciones se deben al elevado contenido que de este nutriente había inicialmente en el suelo, que se incrementa con la fertilización.

Tabla 5.103.- Concentraciones medias de fósforo disponible (Olsen) (mg kg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Fósforo disponible (Olsen) (mg kg ⁻¹)											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	54,0	60,7	60,7	67,7	63,3	70,1	70,0	62,0	59,7	60,1	49,7
N1P1K1	60,1	62,7	60,9	70,3	76,4	84,5	86,5	70,9	63,6	62,3	47,9
N1P1K2	66,4	74,8	47,5	65,0	73,5	77,9	70,2	77,0	66,2	66,3	53,7
N1P1K3	55,5	61,3	52,5	66,9	n.d.	n.d.	59,6	73,0	n.d.	n.d.	58,1
N1P2K1	63,6	69,8	52,0	74,1	n.d.	n.d.	81,1	82,2	n.d.	n.d.	71,8
N1P2K2	67,0	71,8	52,8	69,8	n.d.	n.d.	59,3	82,8	n.d.	n.d.	67,0
N1P2K3	67,0	65,6	60,9	66,3	n.d.	n.d.	68,3	74,0	n.d.	n.d.	51,1
N2P1K1	63,6	68,0	50,2	67,3	n.d.	n.d.	72,4	65,0	n.d.	n.d.	51,5
N2P1K2	70,8	69,1	51,0	59,8	n.d.	n.d.	77,4	75,4	n.d.	n.d.	58,5
N2P1K3	60,3	62,2	43,1	59,4	n.d.	n.d.	65,9	67,9	n.d.	n.d.	51,9
N2P2K1	65,2	71,0	46,9	69,2	82,6	88,2	83,8	78,9	70,1	66,8	56,7
N2P2K2	69,1	77,2	57,0	66,2	72,3	81,1	67,8	84,8	84,8	83,5	66,8
N2P2K3	70,2	73,1	54,3	61,6	n.d.	n.d.	63,0	74,0	n.d.	n.d.	61,8
N3P1K1	62,1	66,8	54,4	71,4	n.d.	n.d.	75,9	70,0	n.d.	n.d.	54,5
N3P1K2	67,1	68,3	50,1	66,8	n.d.	n.d.	74,8	74,1	n.d.	n.d.	62,9
N3P1K3	64,9	64,4	61,7	57,0	n.d.	n.d.	56,5	66,9	n.d.	n.d.	62,8
N3P2K1	78,9	73,9	53,0	72,2	n.d.	n.d.	81,9	81,3	n.d.	n.d.	58,1
N3P2K2	77,8	68,5	54,2	59,4	n.d.	n.d.	56,3	81,9	n.d.	n.d.	60,6
N3P2K3	68,4	72,0	56,5	68,1	71,6	79,2	67,2	70,8	68,7	64,7	54,7

Tabla 5.104.- Concentraciones medias de fósforo disponible (Mehlich 3)(mg kg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Fósforo disponible (Mehlich 3) (mg kg ⁻¹)										
	1998			1999				2000			
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	166,4	169,6	159,4	136,6	41,2	115,7	117,1	81,8	83,9	65,6	115,8
N1P1K1	221,8	203,8	167,9	148,0	91,2	138,8	173,7	102,5	97,4	76,8	119,4
N1P1K2	214,7	215,3	156,0	157,4	93,3	140,7	142,9	118,0	115,9	100,5	132,6
N1P1K3	192,5	175,6	157,2	133,1	n.d.	n.d.	118,6	120,9	n.d.	n.d.	126,3
N1P2K1	234,4	204,2	151,1	178,5	n.d.	n.d.	143,6	119,6	n.d.	n.d.	144,1
N1P2K2	238,9	217,8	163,7	150,1	n.d.	n.d.	132,1	143,3	n.d.	n.d.	164,6
N1P2K3	249,0	216,9	172,6	138,4	n.d.	n.d.	138,8	116,7	n.d.	n.d.	134,0
N2P1K1	227,8	188,9	159,7	140,7	n.d.	n.d.	125,9	91,4	n.d.	n.d.	104,3
N2P1K2	228,0	189,2	137,1	115,3	n.d.	n.d.	123,7	122,0	n.d.	n.d.	136,6
N2P1K3	211,4	179,7	169,2	140,5	n.d.	n.d.	114,3	127,3	n.d.	n.d.	166,7
N2P2K1	249,0	210,2	151,9	171,2	77,9	171,9	152,2	119,3	106,0	99,3	126,6
N2P2K2	260,2	211,2	166,7	141,5	84,6	135,2	136,8	136,7	173,0	140,5	237,5
N2P2K3	275,5	205,5	171,4	141,2	n.d.	n.d.	142,9	119,0	n.d.	n.d.	125,3
N3P1K1	233,3	199,9	151,0	142,7	n.d.	n.d.	137,8	99,0	n.d.	n.d.	108,1
N3P1K2	215,0	207,7	157,0	146,1	n.d.	n.d.	128,1	119,3	n.d.	n.d.	126,1
N3P1K3	211,7	183,8	155,5	122,6	n.d.	n.d.	127,3	116,2	n.d.	n.d.	123,8
N3P2K1	236,7	209,8	150,4	185,8	n.d.	n.d.	164,9	113,1	n.d.	n.d.	119,2
N3P2K2	262,5	209,0	169,3	152,9	n.d.	n.d.	153,5	112,2	n.d.	n.d.	188,1
N3P2K3	230,3	215,7	167,7	149,6	37,6	57,2	137,0	112,3	55,5	48,8	156,0

Las concentraciones de P Olsen y Mehlich 3 están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, existiendo interacciones año x fecha y año x fertilización potásica.

La concentración de fósforo Olsen en el suelo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1999 que en 1998 y 2000. Estas diferencias vienen determinadas por diferencias en las concentraciones iniciales de fósforo asimilable en el suelo utilizado cada año (Tabla 5.4), mientras la fertilización aplicada fue la misma todos los años. Además, como se verá en el capítulo correspondiente al tubérculo, la extracción de fósforo por el tubérculo en la variedad Kennebec es mayor en 1999, lo que también contribuirá a la disminución del fósforo asimilable. La concentración de fósforo Mehlich 3 es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000, lo que también está de acuerdo con las concentraciones en el suelo inicial.

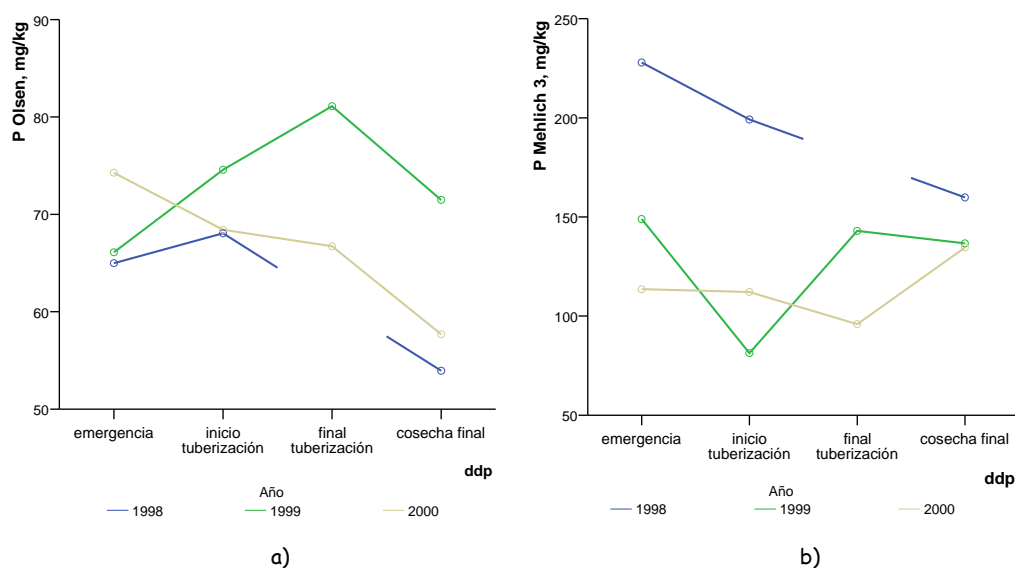


Figura 5.94.- Concentraciones de P Olsen (mg kg^{-1}) (a) y P Mehlich 3 (mg kg^{-1}) (b) para los tres años en función del momento del ciclo vegetativo

Al analizar la concentración de fósforo en el suelo a lo largo del ciclo del cultivo para cada año, en 1998 y 2000 se observa un aumento después de la emergencia, resultante presumiblemente de la mineralización de la materia orgánica del suelo, seguida por una disminución en la fase final del ensayo (Figura 5.94a). En 2000 el fósforo Olsen disminuye a lo largo del ciclo vegetativo. Esta disminución del fósforo asimilable puede deberse en parte a absorción por el cultivo y en parte a inmovilización en el suelo. Cabe esperar que esta inmovilización se produzca por precipitación de fosfatos de hierro y aluminio, dado el carácter ácido del suelo. El patrón de variación del P Olsen a lo largo del ciclo de cultivo difiere del observado en los ensayos de fertilización mixta, en los que se observa una tendencia al aumento hasta el final del ciclo; esta pauta se relaciona con el mayor contenido de materia orgánica mineralizable en los ensayos de fertilización mixta.

El fósforo Mehlich 3 disminuye a lo largo del ciclo vegetativo en 1998, mientras en 1999 y 2000 experimenta oscilaciones en este período (Figura 5.94b). El patrón de variación del P Mehlich 3 a lo largo del ciclo de cultivo es similar al observado en los ensayos de fertilización mixta.

En los tres años de ensayo, las concentraciones de fósforo Olsen y Mehlich 3 aumentan significativamente ($p < 0,05$) a medida que lo hace la dosis de fertilización fosfatada (Tabla 5.105).

Tabla 5.105.- Concentraciones medias de fósforo Olsen para cada dosis de fertilizante fosforado

FÓSFORO, kg P_2O_5 ha ⁻¹	P Olsen, mg kg ⁻¹	P Mehlich 3, mg kg ⁻¹
0	59,9 a	128,5 a
100	64,5 b	153,7 b
200	68,9 c	163,6 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de P

La fertilización potásica afecta a las concentraciones de fósforo Olsen y Mehlich 3 en los años 1999 y 2000 (Tabla 5.106). El fósforo asimilable (Olsen o Mehlich 3) es máximo con la aportación de 150 kg K_2O ha⁻¹ (en 1999) o 300 kg K_2O ha⁻¹ (en 2000).

Tabla 5.106.- Concentraciones medias de fósforo Olsen para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico

POTASIO, kg K_2O ha ⁻¹	P Olsen, mg kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	58,5 a	65,8 a	57,3 a
150	63,0 b	77,9 b	67,5 bc
300	64,5 b	69,3 a	70,1 c
450	62,4 b	66,2 a	64,6 b

POTASIO, kg K_2O ha ⁻¹	P Mehlich 3, mg kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	165,8 a	116,3 a	92,0 a
150	200,6 b	149,7 c	112,1 b
300	200,2 b	131,9 b	135,8 c
450	199,0 b	129,3 b	121,0 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de K

Las concentraciones de fósforo Olsen y Mehlich 3 están correlacionadas entre sí y con los parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.107. En todos los casos el reactivo Mehlich 3 extrae más fósforo que el Olsen, obteniéndose una relación P Mehlich 3/P Olsen entre 0,5 y 3,9.

La correlación entre el fósforo extraído por los reactivos Olsen y Mehlich 3 es baja, mostrando un menor nivel de significación que en los ensayos de fertilización mixta.

Las correlaciones negativas del fósforo Olsen con el pH en agua y en KCl reflejan el hecho, ya observado anteriormente (Fernández Marcos, 1997), de que el reactivo Olsen extrae relativamente más fósforo en suelos ácidos. Por el contrario, el reactivo Mehlich 3 extrae relativamente más fósforo a pH más elevado, lo que se refleja en las correlaciones positivas con el pH en agua y en KCl. Es bien conocida la menor disponibilidad del P a pH ácido, lo que parece indicar la mejor adecuación del reactivo Mehlich 3 para determinar el P asimilable en estos suelos.

Las correlaciones del fósforo Olsen con la relación C/N, el calcio y el magnesio de cambio, la capacidad de cambio catiónico efectiva y el hierro asimilable reflejan las relaciones entre estos parámetros y el pH. De forma similar, el fósforo Mehlich 3 presenta correlaciones positivas con el calcio, el potasio de cambio y la capacidad de cambio catiónico efectiva y negativas con la relación C/N y el hierro asimilable.

Tabla 5.107.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del P Olsen y Mehlich 3 con distintos parámetros del suelo

	P Olsen	P Mehlich 3
pH en agua	-0,460**	0,213**
pH en KCl	-0,437**	0,318**
P Olsen		0,082*
P Mehlich 3	0,082*	
Nitrato	0,250**	0,219**
Nitrógeno total	-0,145**	0,368**
Relación C/N	0,278**	-0,422**
Potasio de cambio		0,171**
Calcio de cambio	-0,255**	0,583**
Magnesio de cambio	-0,082*	
CICe	-0,270**	0,411**
Hierro disponible (Mehlich 3)	0,256**	-0,568**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Complejo de cambio de cationes

En este apartado se estudian las concentraciones de los distintos cationes de cambio (K, Ca y Mg) a lo largo del ciclo. Además para alguna fecha puntual se determina el aluminio de cambio y la capacidad de intercambio catiónica efectiva (CIC_e).

Potasio, Calcio y Magnesio

Las concentraciones de potasio de cambio se encuentran en la mayoría de los casos por encima de 0,26 cmol_ckg⁻¹, valor citado en la bibliografía (Chapman *et al.*, 1992) como "crítico", pero con frecuencia son inferiores al valor "normal" de 0,51 cmol_ckg⁻¹ (Tabla 5.108). Estas concentraciones son en general inferiores a las determinadas en el ensayo de fertilización mixta.

Las concentraciones de calcio de cambio son elevadas, en comparación con el valor de 0,7 cmol_ckg⁻¹ considerado adecuado para patata por van Lierop *et al.* (1982), sobre todo en el año 1998 (Tabla 5.109). Los valores en ese año son considerablemente más altos que en el

ensayo de fertilización mixta. No se alcanza, sin embargo, el umbral de $7,5 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, valor a partir del cual se ha detectado una proliferación de la sarna común (Kazusighe, 1985).

Las concentraciones de magnesio de cambio (Tabla 5.110) se encuentran generalmente próximas al valor crítico de $0,4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido, 1987; Lema, 1996), a menudo por debajo de este valor. En ningún caso se alcanza el valor óptimo de $0,8 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Lema, 1996). A esta situación hay que añadir los desequilibrios que se presentan con el potasio, como se reflejará al analizar las relaciones entre los cationes del complejo de cambio. Por lo tanto, cabe esperar una cierta deficiencia de este nutriente en los tres años de ensayo.

El calcio y el magnesio llegan al suelo por medio del superfosfato simple empleado que contiene un 26% de CaO y un 5% de MgO. El calcio puede proceder además del ligero encalado que se hace antes de sembrar.

Tabla 5.108.- Concentraciones medias de potasio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Potasio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)										
	1998			1999				2000			
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp
	08/06	06/07	08/09	08/06	24/06	12/07	16/09	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	0,18	0,34	0,47	0,43	0,26	0,28	0,50	0,33	0,23	0,20	0,32
N1P1K1	0,35	0,56	0,68	0,35	0,23	0,23	0,24	0,45	0,32	0,27	0,24
N1P1K2	0,42	0,86	0,71	0,54	0,44	0,31	0,25	0,61	0,35	0,26	0,24
N1P1K3	0,69	1,05	0,71	0,80	n.d.	n.d.	0,62	0,73	n.d.	n.d.	0,33
N1P2K1	0,28	0,56	0,70	0,51	n.d.	n.d.	0,32	0,44	n.d.	n.d.	0,19
N1P2K2	0,35	0,64	0,58	0,42	n.d.	n.d.	0,33	0,79	n.d.	n.d.	0,31
N1P2K3	0,46	0,92	0,45	0,75	n.d.	n.d.	0,43	0,68	n.d.	n.d.	0,34
N2P1K1	0,29	0,42	0,89	0,35	n.d.	n.d.	0,19	0,44	n.d.	n.d.	0,24
N2P1K2	0,50	0,60	0,58	0,48	n.d.	n.d.	0,20	0,57	n.d.	n.d.	0,32
N2P1K3	0,73	0,94	0,97	0,98	n.d.	n.d.	0,31	0,92	n.d.	n.d.	0,45
N2P2K1	0,35	0,53	0,82	0,43	0,35	0,32	0,30	0,45	0,31	0,23	0,31
N2P2K2	0,43	0,63	0,46	0,48	0,38	0,33	0,24	0,64	0,36	0,25	0,25
N2P2K3	0,52	0,58	0,60	0,70	n.d.	n.d.	0,28	0,93	n.d.	n.d.	0,43
N3P1K1	0,31	0,52	0,44	0,34	n.d.	n.d.	0,24	0,56	n.d.	n.d.	0,23
N3P1K2	0,53	0,76	0,39	0,52	n.d.	n.d.	0,24	0,66	n.d.	n.d.	0,22
N3P1K3	0,61	0,81	0,76	0,83	n.d.	n.d.	0,31	0,66	n.d.	n.d.	0,33
N3P2K1	0,32	0,56	0,87	0,49	n.d.	n.d.	0,24	0,51	n.d.	n.d.	0,22
N3P2K2	0,42	0,60	0,53	0,48	n.d.	n.d.	0,30	0,72	n.d.	n.d.	0,24
N3P2K3	0,70	0,78	0,66	0,68	0,59	0,46	0,28	0,80	0,46	0,39	0,35

Tabla 5.109.- Concentraciones medias de calcio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Calcio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)										
	1998			1999				2000			
	19 ddp 08/06	47 ddp 06/07	111 ddp 08/09	28 ddp 08/06	45 ddp 24/06	63 ddp 12/07	129 ddp 16/09	12 ddp 30/05	33 ddp 20/06	50 ddp 07/07	118 ddp 13/09
CONTROL	3,52	3,07	3,82	1,85	1,55	1,46	2,06	2,15	2,20	2,19	2,39
N1P1K1	5,39	4,00	3,78	1,53	1,42	1,35	1,47	2,43	2,31	2,33	2,47
N1P1K2	4,57	3,75	4,18	1,94	1,82	1,93	1,87	2,72	2,66	2,60	2,83
N1P1K3	4,20	3,29	3,83	2,74	n.d.	n.d.	2,32	4,53	n.d.	n.d.	4,72
N1P2K1	5,11	3,93	4,19	1,99	n.d.	n.d.	1,91	2,20	n.d.	n.d.	2,99
N1P2K2	4,75	3,68	3,83	1,90	n.d.	n.d.	2,24	2,81	n.d.	n.d.	3,14
N1P2K3	4,06	3,22	3,54	2,30	n.d.	n.d.	3,13	2,60	n.d.	n.d.	2,52
N2P1K1	4,62	3,60	4,78	1,73	n.d.	n.d.	1,66	1,85	n.d.	n.d.	2,21
N2P1K2	4,38	3,63	3,34	1,89	n.d.	n.d.	2,17	2,38	n.d.	n.d.	3,26
N2P1K3	4,21	3,23	5,52	3,84	n.d.	n.d.	3,60	4,51	n.d.	n.d.	4,74
N2P2K1	5,52	4,14	4,25	2,75	2,18	2,07	2,46	2,30	2,42	2,44	2,43
N2P2K2	3,67	3,16	3,42	2,32	2,21	2,28	2,21	3,06	3,35	3,49	4,46
N2P2K3	3,99	3,20	3,31	2,93	n.d.	n.d.	2,24	3,61	n.d.	n.d.	3,22
N3P1K1	4,23	3,95	3,59	1,41	n.d.	n.d.	2,00	2,14	n.d.	n.d.	2,65
N3P1K2	5,50	3,06	3,48	1,99	n.d.	n.d.	1,82	2,41	n.d.	n.d.	2,65
N3P1K3	3,79	2,91	3,30	2,82	n.d.	n.d.	2,48	2,51	n.d.	n.d.	3,16
N3P2K1	4,09	4,72	3,21	2,37	n.d.	n.d.	2,51	2,24	n.d.	n.d.	2,81
N3P2K2	3,31	3,01	4,12	2,04	n.d.	n.d.	2,37	2,72	n.d.	n.d.	3,17
N3P2K3	4,40	3,19	4,16	2,77	2,62	2,49	2,80	2,25	2,42	2,36	2,64

Tabla 5.110.- Concentraciones medias de magnesio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) a lo largo del ciclo del cultivo para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Magnesio ($\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$)										
	1998			1999				2000			
	19 ddp 08/06	47 ddp 06/07	111 ddp 08/09	28 ddp 08/06	45 ddp 24/06	63 ddp 12/07	129 ddp 16/09	12 ddp 30/05	33 ddp 20/06	50 ddp 07/07	118 ddp 13/09
CONTROL	0,28	0,29	0,43	0,36	0,28	0,21	0,47	0,30	0,36	0,36	0,29
N1P1K1	0,44	0,44	0,48	0,26	0,31	0,24	0,29	0,41	0,44	0,45	0,41
N1P1K2	0,43	0,47	0,55	0,36	0,43	0,38	0,46	0,44	0,47	0,45	0,38
N1P1K3	0,42	0,40	0,56	0,42	n.d.	n.d.	0,56	0,64	n.d.	n.d.	0,72
N1P2K1	0,41	0,44	0,66	0,44	n.d.	n.d.	0,54	0,35	n.d.	n.d.	0,28
N1P2K2	0,37	0,40	0,48	0,42	n.d.	n.d.	0,56	0,47	n.d.	n.d.	0,36
N1P2K3	0,38	0,43	0,46	0,50	n.d.	n.d.	0,77	0,38	n.d.	n.d.	0,36
N2P1K1	0,42	0,42	0,68	0,40	n.d.	n.d.	0,27	0,38	n.d.	n.d.	0,29
N2P1K2	0,48	0,40	0,52	0,30	n.d.	n.d.	0,35	0,48	n.d.	n.d.	0,34
N2P1K3	0,43	0,39	0,63	0,53	n.d.	n.d.	0,68	0,63	n.d.	n.d.	0,59
N2P2K1	0,43	0,43	0,57	0,32	0,46	0,31	0,39	0,49	0,50	0,48	0,37
N2P2K2	0,30	0,37	0,45	0,47	0,55	0,53	0,57	0,37	0,42	0,35	0,35
N2P2K3	0,40	0,42	0,43	0,49	n.d.	n.d.	0,53	0,60	n.d.	n.d.	0,54
N3P1K1	0,47	0,47	0,47	0,26	n.d.	n.d.	0,29	0,50	n.d.	n.d.	0,44
N3P1K2	0,54	0,43	0,44	0,40	n.d.	n.d.	0,39	0,47	n.d.	n.d.	0,40
N3P1K3	0,48	0,42	0,52	0,51	n.d.	n.d.	0,59	0,50	n.d.	n.d.	0,54
N3P2K1	0,42	0,54	0,52	0,39	n.d.	n.d.	0,53	0,47	n.d.	n.d.	0,44
N3P2K2	0,30	0,35	0,53	0,34	n.d.	n.d.	0,49	0,48	n.d.	n.d.	0,39
N3P2K3	0,43	0,45	0,55	0,45	0,59	0,53	0,63	0,53	0,54	0,57	0,49

Las concentraciones de potasio de cambio están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la variedad, la fertilización nitrogenada, la fertilización

fosfatada y la fertilización potásica, observándose distintas interacciones entre estas variables.

Las concentraciones de calcio están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica, observándose distintas interacciones entre estas variables.

Las concentraciones de magnesio están afectadas significativamente por la fecha de muestreo y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha, año x fertilización fosfatada y año x fertilización potásica.

Sorprendentemente la concentración de potasio de cambio es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 que en los años 1999 y 2000, a pesar del menor valor inicial.

El calcio de cambio en el suelo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000, de acuerdo con los valores relativos en el suelo inicial.

La concentración de magnesio de cambio no está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo.

Con la excepción del año 1998, la concentración de potasio de cambio disminuye a medida que avanza el ciclo vegetativo. Esta disminución debe atribuirse a las extracciones por las plantas (Figura 5.95a).

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de potasio está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en los tres años de estudio por la fecha de muestreo y la fertilización potásica; en 1998 y 2000 está influenciada además por la fertilización fosfatada (Tabla 5.111). El aumento de la dosis aplicada de fertilizante potásico conduce en los tres años a mayores concentraciones de potasio de cambio. En cuanto a la fertilización fosfatada, la aplicación de $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ es suficiente para dar lugar, en 1998 y 2000, a concentraciones de potasio de cambio significativamente mayores que en las parcelas control.

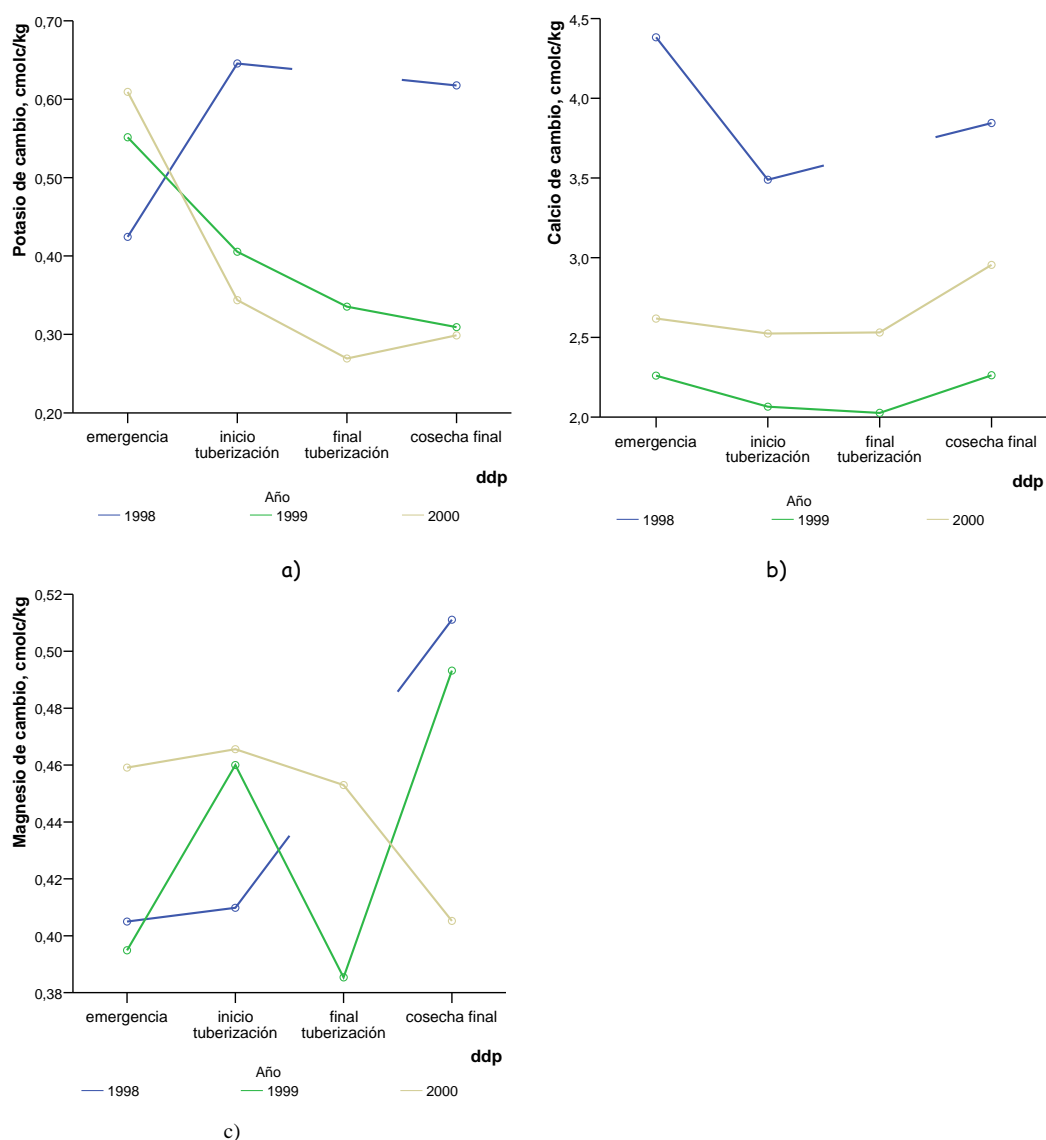


Figura 5.95. Concentraciones de potasio (a), calcio (b) y magnesio (c) de cambio para los tres años en función de la fecha

Tabla 5.111.- Concentraciones medias de potasio de cambio para cada dosis de fertilizante fosfatado y potásico

FOSFORO, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Potasio, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	0,32 a		0,31 a
100	0,62 c		0,42 b
200	0,56 b		0,44 b
POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	Potasio, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	0,32 a	0,43 b	0,31 a
150	0,50 b	0,33 a	0,34 a
300	0,55 c	0,37 ab	0,42 b
450	0,72 d	0,56 c	0,55 c

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05) entre niveles de P o K

La concentración de calcio de cambio disminuye en las fases iniciales del cultivo y vuelve a aumentar en la fase final (Figura 5.95b). La disminución se atribuye a la absorción por el cultivo; la recuperación final podría relacionarse con la liberación de calcio por mineralización de la materia orgánica, cuando las necesidades del cultivo han descendido notablemente.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de calcio está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en los tres años de estudio por la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica; en 1999 y 2000 se observa también un efecto significativo de la fertilización fosfatada. Dependiendo del año, es la dosis más alta de fertilización nitrogenada (230 kg N ha^{-1}) o una dosis menor (130 ó 180 kg N ha^{-1}) la que da lugar a las mayores concentraciones de calcio de cambio (Tabla 5.112). De igual modo, las mayores concentraciones de calcio de cambio se producen con la máxima aplicación de potasio ($450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) o con una aplicación menor ($150 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$). La variación del calcio de cambio con la fertilización es paralela a la variación de la capacidad de cambio efectiva, como se verá en el apartado correspondiente (Tabla 5.118). Una situación similar se observó en el ensayo de fertilización mixta. La aplicación de fertilizante fosfatado da lugar a un aumento del calcio de cambio en 1999 y 2000.

Tabla 5.112.- Concentraciones medias de calcio de cambio para cada dosis de fertilizante

NITROGENO, kg ha^{-1}	Calcio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$		
	1998	1999	2000
0	3,42 a	1,76 a	2,23 a
130	4,07 c	2,01 b	2,79 c
180	3,96 bc	2,40 c	2,99 c
230	3,79 b	2,36 c	2,54 b
FOSFORO, $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	Calcio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$		
	1998	1999	2000
0	3,42 a	1,76 a	2,24 a
100	3,98 b	2,04 b	2,90 b
200	3,90 b	2,41 c	3,03 b
POTASIO, $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$	Calcio, $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$		
	1998	1999	2000
0	3,42 a	1,76 a	2,24 a
150	4,29 c	2,03 b	2,41 a
300	3,79 b	2,03 b	2,89 b
450	3,72 b	2,75 c	3,07 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de N, P o K

La concentración de magnesio de cambio experimenta variaciones significativas con la fecha de muestreo únicamente en 1998, en que este parámetro presenta los valores más

elevados en la fecha de la cosecha final. En 1999 y 2000 se presentan oscilaciones del magnesio de cambio, que no dan lugar a variaciones significativas (Figura 5.95c).

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la concentración de magnesio está influenciado significativamente ($p < 0,05$) en los tres años de estudio por la fertilización potásica y en 1998 y 1999 también por la fertilización fosfatada. En general, la aplicación de fertilización fosfatada o potásica da lugar a un aumento del magnesio de cambio (Tabla 5.113); como en el caso del calcio la variación del magnesio de cambio con la fertilización fosfatada y potásica es paralela a la variación de la capacidad de cambio efectiva.

Tabla 5.113.- Concentraciones medias de magnesio de cambio para cada dosis de fertilizante

FOSFORO, kg P_2O_5 ha ⁻¹	Magnesio, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	0,32 a	0,34 a	0,32 a
100	0,47 b	0,39 ab	0,46 b
200	0,43 b	0,49 b	0,45 b
POTASIO, kg K_2O ha ⁻¹	Magnesio, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	0,32 a	0,34 a	0,32 a
150	0,47 b	0,37 a	0,42 b
300	0,43 b	0,42 a	0,42 b
450	0,45 b	0,56 b	0,53 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de P o K

Potasio, calcio y magnesio de cambio están correlacionados significativamente entre sí y con los parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.114. La correlación positiva de estos cationes de cambio con el pH es un hecho bien conocido. Las correlaciones con la capacidad de intercambio catiónico efectiva y con el hierro asimilable deben resultar de la dependencia entre estos parámetros y el pH. Las correlaciones con el fósforo Olsen y Mehlich 3 fueron comentadas al tratar de estos parámetros. Las correlaciones positivas con cobre, cinc y manganeso asimilables pueden indicar un origen común en la mineralización de la materia orgánica o en los fertilizantes minerales. Las correlaciones con carbono y nitrógeno parecen indicar un posible origen de estos elementos en la materia orgánica.

Tabla 5.114.- Correlaciones del potasio, calcio y magnesio de cambio con distintos parámetros del suelo

	K cambio	Ca cambio	Mg cambio
pH H ₂ O	0,227**	0,440**	0,265**
pH KCl	0,288**	0,573**	0,285**
P Olsen		-0,255**	-0,082*
P Mehlich 3	0,171**	0,583**	
Potasio de cambio		0,238**	0,266**
Calcio de cambio	0,238**		0,328**
Magnesio de cambio	0,266**	0,328**	
CICe	0,342**	0,847**	0,438**
Hierro disponible (Mehlich 3)	-0,347**	-0,546**	0,103**
Manganeso disponible (Mehlich 3)	0,142**	0,381**	0,220**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Relaciones entre los cationes del complejo de cambio

Las relaciones intercatiónicas han de presentar unos valores adecuados para que exista un buen suministro de los distintos cationes al cultivo. En la Tabla 5.5 se recogen valores de estas relaciones críticos y óptimos para el desarrollo de la patata, junto con los valores en el suelo inicial.

Como ya se indicó en la caracterización inicial del suelo, no existen en los suelos iniciales grandes desequilibrios entre cationes, a diferencia de las parcelas utilizadas en los ensayos de fertilización mixta.

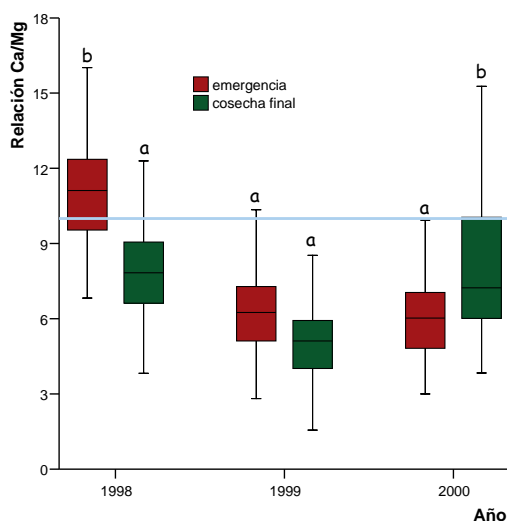
Estas relaciones iniciales se modificarán con la fertilización y las extracciones por el cultivo. En la Tabla 5.115 se presentan los valores de las relaciones Ca/Mg, Ca/K y K/Mg en el momento de la emergencia y la cosecha final para los distintos tratamientos.

La relación Ca/Mg está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica, habiendo interacciones año x fecha y año x fertilización nitrogenada. Los mayores (más equilibrados) valores de esta relación en la emergencia se presentan en 1998, siendo significativamente diferentes de los valores en 1999 y 2000 (Figura 5.96). Estas diferencias están de acuerdo con los valores relativos en el suelo inicial.

Tabla 5.115.- Valores medios de las relaciones entre cationes de cambio para los distintos tratamientos en el momento de la emergencia en los tres años de cultivo para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	1998						1999						2000					
	08/06/98			08/09/98			08/06/99			16/09/99			30/05/00			13/09/00		
	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
CONTROL	13,0	20,3	0,6	9,40	9,52	1,10	5,4	4,3	1,3	4,64	5,12	1,24	7,2	6,6	1,1	8,94	12,12	0,66
N1P1K1	11,5	14,9	0,8	8,08	5,98	1,46	7,2	5,3	1,4	6,48	6,57	0,96	5,9	5,5	1,1	6,82	11,17	0,60
N1P1K2	10,7	11,2	1,0	7,84	6,73	1,38	6,4	4,3	1,5	5,36	7,91	0,68	6,3	4,5	1,4	8,07	12,22	0,66
N1P1K3	10,6	6,8	1,6	7,20	6,43	1,34	6,6	3,4	1,9	4,33	3,80	1,14	6,1	5,3	1,1	8,30	14,45	0,60
N1P2K1	12,8	17,2	0,8	6,51	6,62	1,11	5,3	4,6	1,2	4,01	6,74	0,60	7,3	5,8	1,3	10,98	16,34	0,68
N1P2K2	13,1	13,6	1,0	8,13	7,03	1,32	5,4	5,3	1,0	4,35	7,00	0,61	6,0	3,6	1,7	9,06	10,30	0,89
N1P2K3	13,5	11,2	1,3	7,82	8,01	1,00	5,6	3,8	1,5	4,48	7,65	0,59	7,2	4,1	1,8	6,95	8,00	0,97
N2P1K1	11,1	16,3	0,7	7,17	6,38	1,25	4,3	4,9	0,9	6,71	8,78	0,79	5,7	5,0	1,1	8,03	9,08	0,89
N2P1K2	9,2	9,3	1,1	7,27	6,29	1,21	6,3	4,0	1,6	6,92	10,79	0,65	5,4	4,5	1,2	10,67	11,07	0,98
N2P1K3	9,9	5,7	1,8	9,04	7,88	1,55	6,7	4,1	1,6	5,29	11,45	0,46	6,1	4,2	1,5	9,51	10,71	0,87
N2P2K1	12,2	15,7	0,8	7,74	5,52	1,43	7,7	5,7	1,4	6,54	8,77	0,77	5,1	5,5	0,9	6,86	9,11	0,81
N2P2K2	12,2	9,6	1,4	8,10	7,66	1,06	5,0	4,8	1,0	4,18	9,53	0,46	8,5	4,9	1,7	12,73	18,24	0,71
N2P2K3	11,5	11,6	1,2	8,08	6,27	1,44	6,0	4,2	1,5	4,63	9,16	0,55	5,1	3,3	1,6	7,05	7,62	0,95
N3P1K1	10,5	16,0	0,7	8,04	8,66	0,96	6,6	5,1	1,3	7,04	8,76	0,82	4,9	4,4	1,1	6,36	11,54	0,55
N3P1K2	10,6	11,1	1,0	8,30	9,32	0,90	5,4	4,2	1,3	6,60	8,08	0,78	6,1	4,7	1,4	7,81	13,03	0,65
N3P1K3	10,1	7,6	1,3	6,35	4,34	1,46	6,2	3,8	1,6	4,52	8,28	0,53	8,4	4,9	1,7	5,92	9,85	0,67
N3P2K1	11,5	14,8	0,8	6,70	5,07	1,57	6,2	4,8	1,3	5,26	11,01	0,51	5,4	5,1	1,1	7,27	14,38	0,52
N3P2K2	10,9	8,0	1,4	7,83	8,19	1,01	7,0	4,9	1,4	4,84	8,21	0,62	6,4	4,3	1,5	8,64	13,75	0,72
N3P2K3	11,0	8,3	1,5	7,69	7,20	1,24	6,2	4,1	1,5	4,58	10,80	0,46	5,2	3,4	1,5	5,51	8,39	0,80

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la relación Ca/Mg está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en 1998 por la fecha y las fertilizaciones



nitrogenada, fosfatada y potásica; en 1999 sólo por la fecha; en 2000 por las fertilizaciones nitrogenada y potásica (Tabla 5.116). En general, la relación Ca/Mg disminuye con la fertilización.

En cuanto a la fecha, la relación Ca/Mg en 1998 y 1999 disminuye entre la emergencia y la cosecha final, mientras en 2000 se observa la variación inversa (Figura 5.96).

Figura 5.96. Relación Ca/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

La relación Ca/K está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, habiendo interacciones año x fecha, año x fertilización nitrogenada, año x fertilización potásica, fertilización nitrogenada x fertilización potásica y fertilización fosfatada x fertilización potásica. Los mayores valores de esta relación se presentan en 1998 y los menores en 1999, existiendo diferencias significativas entre cada año y los otros dos (Figura 5.97), lo mismo que para la relación Ca/Mg. Estas diferencias están de acuerdo con los valores relativos en el suelo inicial.

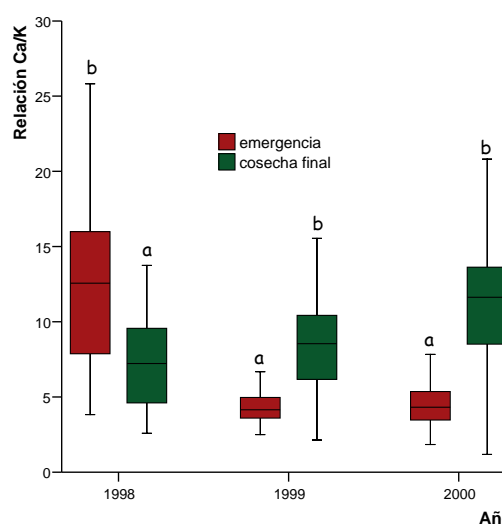


Figura 5.97. Relación Ca/K para los tres años de estudio y dos fechas

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la relación Ca/K está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en 1998 por la fecha y las fertilizaciones nitrogenada, fosfatada y potásica; en 1999 por la fecha y las fertilizaciones nitrogenada y fosfatada, y en 2000 por la fecha y la fertilización potásica (Tabla 5.116). La influencia de la fertilización sobre esta relación es distinta dependiendo del año.

En cuanto a la fecha, la relación Ca/K en 1999 y 2000 aumenta entre la emergencia y la cosecha final, mientras en 1998 se observa la variación inversa (Figura 5.98).

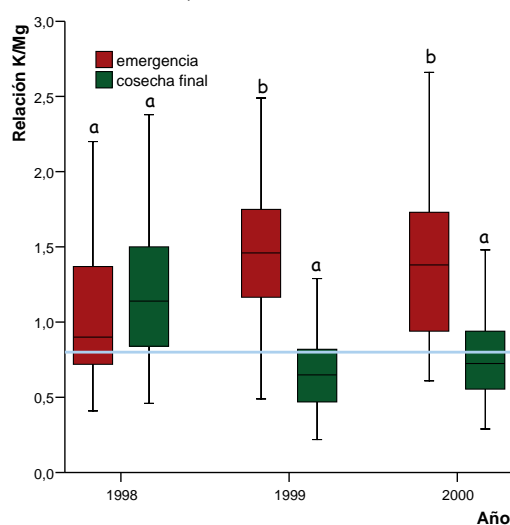


Figura 5.98. Relación K/Mg para los tres años de estudio y dos fechas (la línea horizontal indica el valor óptimo de la relación)

La relación K/Mg está afectada significativamente ($p < 0,05$) por la fecha de muestreo y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha y año x fertilización fosfatada. Los valores de esta relación son mayores en 1998 que en 1999 y 2000 (Figura 5.98), lo mismo que las concentraciones de potasio de cambio.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la relación K/Mg está influenciada significativamente ($p < 0,05$) en 1998 por la fecha y la fertilización potásica; en 1999 por la fecha y la fertilización fosfatada; en 2000 por la fecha (Tabla 5.116). La fertilización potásica da lugar lógicamente a un aumento de la relación K/Mg y la fertilización fosfatada a una disminución de la misma.

En cuanto a la fecha, la relación K/Mg en 1999 y 2000 disminuye entre la emergencia y la cosecha final, mientras en 1998 se observa la variación inversa (Figura 5.98).

Tabla 5.116.- Diferencias significativas en las relaciones intercatiónicas según las dosis de fertilización N, P, K

NITRÓGENO, kg ha ⁻¹		Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
1998	0	11,1 c	13,0 b	-
	130	9,4 b	8,5 a	-
	180	9,3 ab	8,4 a	-
	230	8,5 a	7,6 a	-
1999	0	-	4,4 a	-
	130	-	5,2 a	-
	180	-	7,0 b	-
	230	-	6,8 b	-
2000	0	8,1 b	-	-
	130	7,5 ab	-	-
	180	7,5 ab	-	-
	230	6,1 a	-	-
FÓSFORO, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹		Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
1999	0	11,08 b	4,4 a	-
	100	8,8 a	7,0 b	-
	200	9,3 a	6,8 b	-
2000	0	-	4,4 a	1,5 b
	100	-	6,1 b	1,2 a
	200	-	6,5 b	1,0 a
POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹		Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
1998	0	11,1 c	13,0 d	1,0 a
	150	9,5 b	10,5 c	1,1 a
	300	9,2 ab	7,7 b	1,4 b
	450	8,6 a	6,2 a	1,7 c
1999	0	-	4,4 a	-
	150	-	6,7 b	-
	300	-	6,3 b	-
	450	-	6,0 b	-
2000	0	-	9,0 b	-
	150	-	8,5 b	-
	300	-	8,5 b	-
	450	-	6,7 a	-

Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CIC_e)

La CIC_e, es decir, la suma de K, Ca, Mg, Na y Al de cambio, se ha determinado para dos muestreos (emergencia y cosecha final) en cada año. Los valores de este parámetro, la suma de cationes alcalinos y alcalinotérreos y los porcentajes de aluminio en la CIC_e para dichas fechas se reflejan en la Tabla 5.117.

Tabla 5.117.- Capacidad de intercambio catiónico para los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	1998						1999						2000					
	08/06/98			08/09/98			08/06/99			16/09/99			30/05/00			13/09/00		
	S(1)	CICe(1)	%Al	S(1)	CICe(1)	%Al	S(1)	CICe(1)	%Al	S(1)	CICe(1)	%Al	S(1)	CICe(1)	%Al	S(1)	CICe(1)	%Al
CONTROL	4,3	4,6	5,3	5,1	5,8	11,4	2,7	3,1	12,3	3,2	3,6	10,4	2,8	3,2	11,2	3,1	3,6	14,5
N1P1K1	6,2	6,4	2,2	5,8	7,5	22,8	2,6	3,0	14,2	2,5	3,2	21,3	3,4	3,7	10,1	3,2	3,8	16,4
N1P1K2	5,8	6,0	3,9	6,4	7,1	9,4	3,2	3,7	11,7	3,3	3,7	11,1	3,9	4,2	8,9	3,5	4,0	12,4
N1P1K3	5,8	6,0	2,9	6,2	7,9	20,3	4,0	4,3	7,1	4,0	4,3	6,3	5,3	5,6	4,3	5,2	5,5	4,4
N1P2K1	6,4	6,5	2,1	6,1	7,6	20,2	3,3	3,6	8,3	3,5	4,0	11,1	3,4	3,8	9,5	3,6	4,1	12,6
N1P2K2	5,8	6,0	2,4	5,5	7,4	26,1	3,2	3,5	10,4	3,8	4,1	8,4	4,2	4,5	8,2	3,9	4,5	12,3
N1P2K3	6,3	6,5	2,8	5,1	7,8	33,6	4,1	4,3	3,7	4,7	5,0	5,6	3,9	4,2	7,0	4,0	4,2	4,8
N2P1K1	5,7	6,0	4,6	7,0	8,4	15,3	2,6	3,0	15,8	2,2	2,9	22,5	3,1	3,4	8,7	3,2	3,8	15,8
N2P1K2	5,8	6,1	5,3	6,2	7,0	11,8	2,7	3,2	14,8	3,1	3,7	16,3	3,7	3,9	7,1	3,9	4,5	12,4
N2P1K3	5,8	6,0	3,7	8,2	10,4	21,2	5,0	5,3	6,6	4,8	5,0	3,7	5,5	5,6	2,7	5,2	5,4	3,9
N2P2K1	6,3	6,6	4,0	6,4	8,4	23,1	3,2	3,7	11,5	3,3	3,9	15,1	3,5	3,9	10,6	3,5	3,9	9,0
N2P2K2	4,8	5,0	4,8	5,7	6,8	15,8	3,3	3,8	12,5	3,5	3,9	10,0	4,3	4,5	4,7	4,6	4,9	6,2
N2P2K3	5,9	6,2	4,1	6,1	7,6	19,7	4,2	4,3	3,8	3,2	3,4	4,1	4,6	4,8	4,1	4,3	4,6	6,3
N3P1K1	6,0	6,3	4,1	4,9	6,2	19,8	2,4	2,9	16,0	2,7	3,3	18,8	3,6	3,9	6,5	3,4	4,0	13,0
N3P1K2	7,2	7,4	3,2	5,2	6,6	19,2	3,2	3,6	12,2	3,1	3,6	14,9	4,1	4,5	8,6	3,5	4,1	12,7
N3P1K3	6,3	6,6	4,0	5,1	7,0	23,5	4,6	4,9	5,9	4,2	4,5	5,2	5,6	5,8	3,0	4,6	4,8	5,2
N3P2K1	5,9	6,1	3,7	5,2	7,7	31,3	3,3	3,7	9,8	3,4	3,8	10,5	3,6	3,9	7,4	3,7	4,2	10,6
N3P2K2	4,4	4,6	5,4	5,8	7,0	17,1	3,3	3,6	10,4	3,5	3,9	9,9	4,3	4,7	8,0	4,3	4,6	8,2
N3P2K3	6,2	6,4	3,2	6,0	7,8	22,8	4,0	4,2	5,6	4,2	4,5	5,8	4,2	4,4	4,5	3,9	4,2	6,6

(1) CICe y suma de cationes alcalinos y alcalinotérreos (S) expresadas en $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$

En la Tabla anterior puede verse que el suelo tiene una baja capacidad de intercambio catiónico efectiva. Como ya se indicó en la caracterización inicial del suelo, la CICe presenta valores próximos o incluso inferiores a $4 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, valor por debajo del cual la fertilidad del suelo puede estar limitada (Sánchez *et al*, 1982; Jiménez, 1994).

Por otra parte, no cabe esperar reducciones del rendimiento debidas al aluminio, pues en ningún la saturación de éste en el complejo de cambio alcanza el valor crítico del 20% (Manrique y Uehara, 1984a y b).

La CICe está afectada significativamente ($p<0,05$) por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, existiendo distintas interacciones entre estos parámetros.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva es significativamente ($p<0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000, de acuerdo con los valores del suelo inicial.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que la CICe está influenciada significativamente ($p<0,05$) por la fecha en 1998 y por la fertilización

nitrogenada, la fertilización fosfatada y potásica en los tres años de estudio, habiendo interacción fertilización fosfatada x fertilización potásica (Tabla 5.118).

Tabla 5.118.- Diferencias significativas para la $CICe$ según las dosis de abonado

NITROGENO, kg ha ⁻¹	$CICe$, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	4,6 a	3,2 a	3,4 a
130	6,1 b	3,5 ab	4,2 bc
180	5,8 b	3,9 b	4,4 c
230	5,7 b	3,7 ab	3,9 b
FOSFORO, kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	$CICe$, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	4,6 a	3,2 a	3,4 a
100	5,9 b	3,5 b	4,3 b
200	5,8 b	3,9 c	4,1 b
POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	$CICe$, cmol _c kg ⁻¹		
	1998	1999	2000
0	4,6 a	3,2 a	3,4 a
150	6,1 c	3,4 a	3,7 a
300	5,6 b	3,4 a	4,3 b
450	5,9 bc	4,4 b	4,7 c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de N, P o K

En 1998 la $CICe$ aumenta significativamente ($p < 0,05$) entre la emergencia y la cosecha final, mientras en 1999 y 2000 no existen diferencias significativas entre estas dos fechas. El aumento observado en 1998 se relaciona con un aumento en el pH.

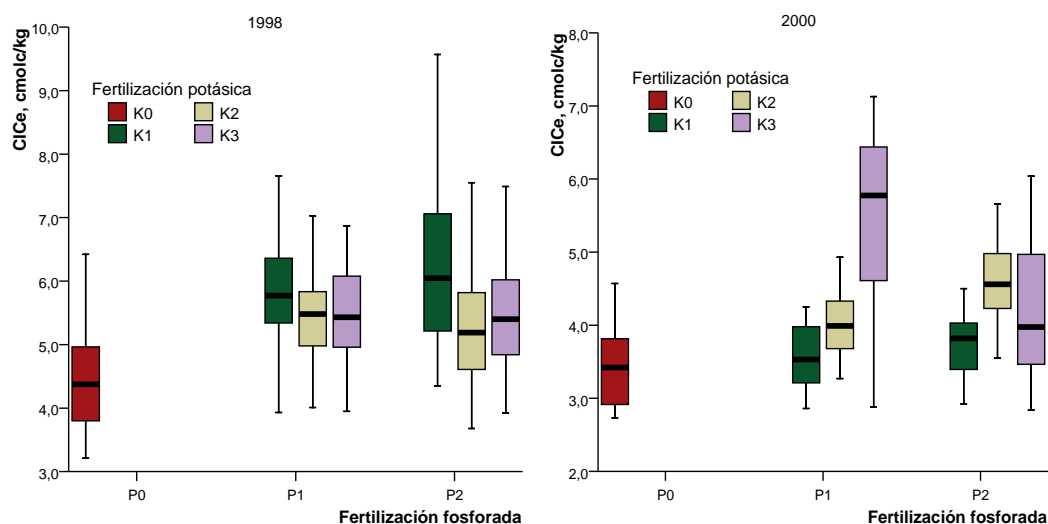


Figura 5.99.- Concentraciones de $CICe$, cmol_ckg⁻¹ en función de la fertilización fosfatada y potásica para los años 1998 y 2000

La aplicación de 130 ó 180 kg N ha⁻¹ produce un aumento de la $CICe$, que en 1999 y 2000 disminuye de nuevo con la aplicación de 230 kg N ha⁻¹ (Tabla 5.118). La influencia de

las fertilizaciones fosfatada y potásica sobre la CICE varía según el año de ensayo (Figura 5.99).

La capacidad de intercambio catiónico efectiva se correlaciona positiva y significativamente con el pH y con otros parámetros del suelo que, a su vez, se correlacionan con el pH (Tabla 5.119).

Tabla 5.119.- Correlaciones de la CICE con distintos parámetros del suelo

	CICE
pH agua	0,418**
pH KCl	0,510**
P Mehlich	0,411**
Nitrógeno total	0,421**
% Carbono	0,277**
Relación C/N	-0,419**
Potasio de cambio	0,342**
Calcio de cambio	0,847**
Magnesio de cambio	0,438**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Micronutrientes asimilables (Mehlich 3)

Las concentraciones de hierro, manganeso, cinc y cobre extraíbles con reactivo Mehlich 3 se determinaron en los muestreos del 08 de Junio, 06 de Julio y del 08 de Septiembre en el año 1998; en los muestreos del 08 de Junio, 24 de Junio, 12 de Julio y del 16 de Septiembre de 1999 y en los muestreos del 30 de Mayo, 20 de Junio, 07 de Julio y del 13 de Septiembre del año 2000. Los valores medios de hierro, manganeso, cobre y cinc para cada fecha y tratamiento se muestran en las Tablas 5.120, 5.121 y 5.122. Las fechas que no se muestran para algún micronutriente son debidas a que sus niveles eran siempre menores que el límite de detección.

Tabla 5.120.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 1998 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Micronutrientes disponibles (Mehlich 3, mg kg ⁻¹)											
	Hierro			Manganeso			Cobre			Cinc		
	19 ddp	47 ddp	111 ddp	19 ddp	47 ddp	111 ddp	19 ddp	47 ddp	111 ddp	19 ddp	47 ddp	111 ddp
	08/06	06/07	08/09	08/06	06/07	08/09	08/06	06/07	08/09	08/06	06/07	08/09
CONTROL	259,5	215,4	210,9	23,4	10,1	13,0	0,5	0,7	0,9	3,0	1,6	2,0
N1P1K1	298,5	213,9	230,6	28,1	15,9	16,3	0,8	0,7	0,9	3,1	2,1	2,4
N1P1K2	258,6	196,2	239,0	22,1	14,0	19,6	0,7	0,7	1,0	3,3	2,2	2,0
N1P1K3	256,0	189,8	231,1	25,9	15,7	17,4	0,9	0,4	1,1	3,3	1,9	1,9
N1P2K1	259,4	186,9	238,2	29,0	15,9	18,0	0,9	0,4	1,1	3,3	2,1	2,0
N1P2K2	214,5	154,8	257,9	25,0	12,1	18,8	0,5	0,6	1,1	3,2	2,1	2,6
N1P2K3	276,7	205,5	245,3	29,0	17,7	21,1	0,8	0,6	1,1	3,4	2,2	2,0
N2P1K1	298,7	198,6	225,4	26,4	16,8	17,9	0,6	0,8	1,1	3,0	2,2	2,6
N2P1K2	260,8	177,3	217,8	24,4	15,3	14,1	0,2	0,5	1,1	3,1	2,1	2,3
N2P1K3	289,7	200,6	244,1	28,6	19,7	15,5	0,3	0,5	1,3	3,0	2,0	2,0
N2P2K1	300,1	183,9	245,5	28,1	17,8	20,8	0,7	0,7	1,3	3,1	2,2	2,8
N2P2K2	297,4	168,2	240,8	23,5	14,4	14,1	0,7	0,6	1,1	3,1	2,2	2,2
N2P2K3	285,3	204,5	221,6	31,5	20,1	15,6	0,7	0,6	0,7	3,1	2,2	2,3
N3P1K1	287,7	200,3	226,9	24,5	15,5	18,5	0,7	0,6	0,8	3,4	2,0	2,1
N3P1K2	274,2	195,4	236,5	21,8	15,5	17,0	0,9	0,6	1,3	3,6	2,0	2,0
N3P1K3	295,5	196,9	232,4	26,3	15,3	19,3	0,6	0,7	0,9	3,1	1,7	2,2
N3P2K1	273,3	206,7	239,2	25,5	17,3	14,8	0,8	0,5	1,4	3,6	2,2	1,8
N3P2K2	306,4	171,6	227,7	21,0	13,7	17,8	0,8	0,6	1,3	3,1	2,3	2,4
N3P2K3	272,1	215,8	233,3	28,4	19,2	17,4	0,6	0,6	1,0	3,2	2,1	2,2

Tabla 5.121.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 1999 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Micronutrientes disponibles (Mehlich 3, mg kg ⁻¹)															
Tratamiento	Hierro				Manganeso				Cobre			Cinc			
	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp	28 ddp	45 ddp	63 ddp	129 ddp
	08/06	24/06	12/07	16/09	08/06	24/06	12/07	16/09	24/06	12/07	16/09	08/06	24/06	12/07	16/09
CONTROL	406,5	630,0	605,0	606,7	17,4	12,8	12,6	16,5	0,3	0,4	1,0	1,7	1,4	2,0	3,0
N1P1K1	419,7	602,7	613,0	604,0	18,3	16,4	15,7	15,9	0,3	0,2	0,4	1,9	1,6	2,0	2,1
N1P1K2	431,4	619,4	608,5	617,5	20,3	18,2	17,4	18,7	0,3	0,3	0,5	2,2	1,7	2,6	2,2
N1P1K3	490,0	n.d.	n.d.	607,3	22,8	n.d.	n.d.	20,6	n.d.	n.d.	0,6	2,0	n.d.	n.d.	3,1
N1P2K1	370,2	n.d.	n.d.	588,7	18,8	n.d.	n.d.	18,0	n.d.	n.d.	0,7	2,2	n.d.	n.d.	2,3
N1P2K2	429,7	n.d.	n.d.	626,0	21,7	n.d.	n.d.	20,7	n.d.	n.d.	0,4	2,0	n.d.	n.d.	3,5
N1P2K3	409,5	n.d.	n.d.	601,7	20,0	n.d.	n.d.	17,0	n.d.	n.d.	0,5	1,8	n.d.	n.d.	2,3
N2P1K1	350,0	n.d.	n.d.	579,3	14,9	n.d.	n.d.	13,3	n.d.	n.d.	0,7	2,1	n.d.	n.d.	3,1
N2P1K2	382,3	n.d.	n.d.	604,7	16,3	n.d.	n.d.	15,5	n.d.	n.d.	0,4	1,8	n.d.	n.d.	2,7
N2P1K3	426,7	n.d.	n.d.	590,7	25,8	n.d.	n.d.	19,6	n.d.	n.d.	0,4	1,8	n.d.	n.d.	2,2
N2P2K1	389,5	572,3	561,3	589,6	18,2	16,0	15,8	16,8	0,4	0,6	0,7	1,7	1,3	2,3	2,7
N2P2K2	370,3	622,0	609,7	610,0	18,5	17,0	16,4	17,0	0,4	0,4	0,5	1,7	1,4	2,3	
N2P2K3	420,5	n.d.	n.d.	607,3	20,0	n.d.	n.d.	18,9	n.d.	n.d.	0,5	2,0	n.d.	n.d.	2,5
N3P1K1	489,3	n.d.	n.d.	566,3	18,0	n.d.	n.d.	15,7	n.d.	n.d.	0,5	1,9	n.d.	n.d.	2,1
N3P1K2	422,5	n.d.	n.d.	591,2	16,9	n.d.	n.d.	14,9	n.d.	n.d.	0,4	1,8	n.d.	n.d.	2,4
N3P1K3	362,7	n.d.	n.d.	605,3	23,3	n.d.	n.d.	20,5	n.d.	n.d.	0,3	2,1	n.d.	n.d.	3,3
N3P2K1	416,2	n.d.	n.d.	568,0	17,7	n.d.	n.d.	16,9	n.d.	n.d.	0,4	1,7	n.d.	n.d.	4,1
N3P2K2	476,7	n.d.	n.d.	650,7	20,3	n.d.	n.d.	19,9	n.d.	n.d.	0,2	1,9	n.d.	n.d.	3,1
N3P2K3	540,2	600,9	608,2	603,5	19,6	17,9	18,5	18,3	0,3	0,3	0,5	1,9	1,6	2,4	2,6

Tabla 5.122.- Concentraciones medias de micronutrientes (mg kg⁻¹) a lo largo del ciclo del cultivo en el año 2000 para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Micronutrientes disponibles (Mehlich 3, mg kg ⁻¹)															
Tratamiento	Hierro				Manganeso				Cobre			Cinc			
	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	12 ddp	33 ddp	50 ddp	118 ddp
	30/05	20/06	07/07	13/09	30/05	20/06	07/07	13/09	30/05	20/06	07/07	30/05	20/06	07/07	13/09
CONTROL	454,9	566,8	573,3	435,6	14,8	9,5	8,5	12,8	0,4	0,4	0,4	3,0	1,6	1,5	2,1
N1P1K1	461,3	530,0	577,0	438,0	17,8	12,1	9,5	14,1	0,7	0,7	0,3	2,8	1,8	1,6	1,9
N1P1K2	468,5	477,5	570,5	434,8	18,7	12,2	10,5	15,4	0,9	0,4	0,5	3,1	1,7	2,0	2,0
N1P1K3	489,7	n.d.	n.d.	437,0	25,5	n.d.	n.d.	19,9	1,2	n.d.	n.d.	5,1	n.d.	n.d.	3,5
N1P2K1	451,2	n.d.	n.d.	421,8	20,5	n.d.	n.d.	17,9	0,9	n.d.	n.d.	3,0	n.d.	n.d.	1,8
N1P2K2	490,3	n.d.	n.d.	430,3	19,7	n.d.	n.d.	16,4	0,8	n.d.	n.d.	3,8	n.d.	n.d.	2,6
N1P2K3	468,4	n.d.	n.d.	439,7	21,4	n.d.	n.d.	18,1	1,2	n.d.	n.d.	3,0	n.d.	n.d.	2,1
N2P1K1	458,7	n.d.	n.d.	450,0	17,6	n.d.	n.d.	14,9	1,3	n.d.	n.d.	3,1	n.d.	n.d.	1,5
N2P1K2	442,7	n.d.	n.d.	421,7	18,1	n.d.	n.d.	16,8	1,1	n.d.	n.d.	3,4	n.d.	n.d.	2,3
N2P1K3	523,0	n.d.	n.d.	445,3	24,2	n.d.	n.d.	18,5	1,0	n.d.	n.d.	4,4	n.d.	n.d.	3,4
N2P2K1	474,3	532,9	558,9	426,2	19,1	11,9	11,5	15,9	0,8	0,7	0,5	3,0	1,7	1,7	1,6
N2P2K2	389,0	515,0	473,0	399,3	21,0	15,9	12,3	18,1	0,9	0,7	0,6	5,4	3,8	3,1	3,8
N2P2K3	506,4	n.d.	n.d.	452,0	22,0	n.d.	n.d.	17,8	0,9	n.d.	n.d.	2,9	n.d.	n.d.	1,7
N3P1K1	408,3	n.d.	n.d.	422,3	17,3	n.d.	n.d.	14,6	2,1	n.d.	n.d.	3,6	n.d.	n.d.	1,7
N3P1K2	435,4	n.d.	n.d.	423,0	17,8	n.d.	n.d.	14,8	1,5	n.d.	n.d.	4,0	n.d.	n.d.	2,3
N3P1K3	464,7	n.d.	n.d.	418,3	20,2	n.d.	n.d.	16,8	0,4	n.d.	n.d.	3,2	n.d.	n.d.	2,5
N3P2K1	474,5	n.d.	n.d.	418,5	18,4	n.d.	n.d.	16,5	1,0	n.d.	n.d.	3,2	n.d.	n.d.	1,9
N3P2K2	477,7	n.d.	n.d.	419,3	20,4	n.d.	n.d.	16,6	1,5	n.d.	n.d.	5,4	n.d.	n.d.	3,4
N3P2K3	467,9	547,0	473,0	435,5	21,1	15,0	11,3	16,4	1,2	0,6	0,5	3,4	1,8	1,2	1,9

Lo mismo que en los ensayos de fertilización mixta, las concentraciones de manganeso y cinc son siempre superiores a los niveles críticos (Sims, 1989), por lo que no se esperan deficiencias (Tablas 5.120. 5.121 y 5.122). Las concentraciones de cobre son inferiores al nivel crítico al inicio del ciclo del cultivo para muchos de los tratamientos en 1998, por lo que son previsibles deficiencias de este micronutriente. Las concentraciones de hierro están muy por encima del nivel de suficiencia establecido por Tisdale *et al.* (1993).

La concentración de hierro disponible (Mehlich 3) está afectada significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización fosfatada, habiendo interacción año x fecha. El hierro disponible en el suelo varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 2000 > 1998 (Figura 5.100a). Las concentraciones de hierro disponible son significativamente ($p < 0,05$) mayores con la aplicación de 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ que con la aplicación de 100 kg P₂O₅ ha⁻¹.

La concentración de manganeso disponible (Mehlich 3) está afectada significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha. El manganeso disponible en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 1998 que en 1999 y 2000 (Figura 5.100b). La fecha de la emergencia presenta concentraciones de manganeso significativamente ($p < 0,05$) mayores que las fechas de inicio y final de tuberización. Las concentraciones de manganeso son

significativamente ($p<0,05$) mayores con cualquiera de las dosis de fertilización que en el control.

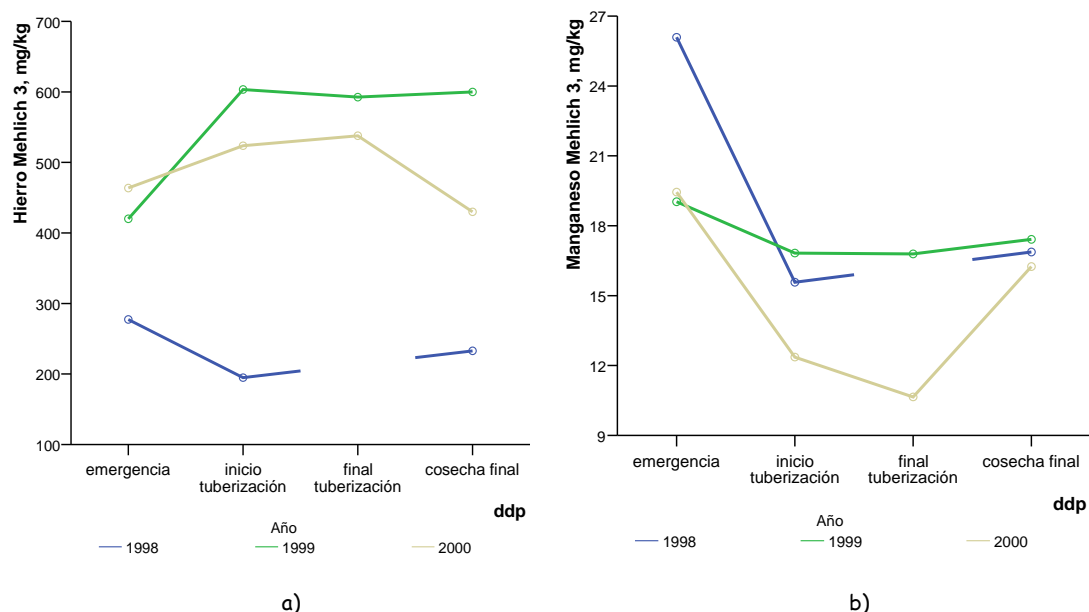


Figura 5.100.- Concentración de hierro y manganeso disponible (mg kg^{-1}) para los tres años de estudio según el momento del ciclo vegetativo

La concentración de cobre disponible (Mehlich 3) está afectada significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización nitrogenada, habiendo interacción año \times fertilización nitrogenada. El cobre disponible en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 2000 y 1998 que en 1999 (Figura 5.101a). Las fechas de la emergencia y cosecha final presentan concentraciones de cobre significativamente ($p<0,05$) mayores que las fechas de inicio y final de tuberización. Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que el cobre disponible está influenciado significativamente ($p<0,05$) por la fecha en los tres años de estudio y por la fertilización nitrogenada en los años 1999 y 2000, no habiendo interacción entre dichos factores (Tabla 5.120, 5.121 y 5.122).

La concentración de cinc disponible (Mehlich 3) está afectada significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, habiendo interacción año \times fecha, año \times fertilización potásica y fertilización fosfatada \times fertilización potásica. El cinc disponible en el suelo a lo largo del ciclo vegetativo es significativamente ($p<0,05$) mayor en 2000 y 1998 que en 1999 (Figura 5.101b). Las fechas de la emergencia y cosecha final presentan concentraciones de cobre significativamente ($p<0,05$) mayores que las fechas de inicio y final de tuberización.

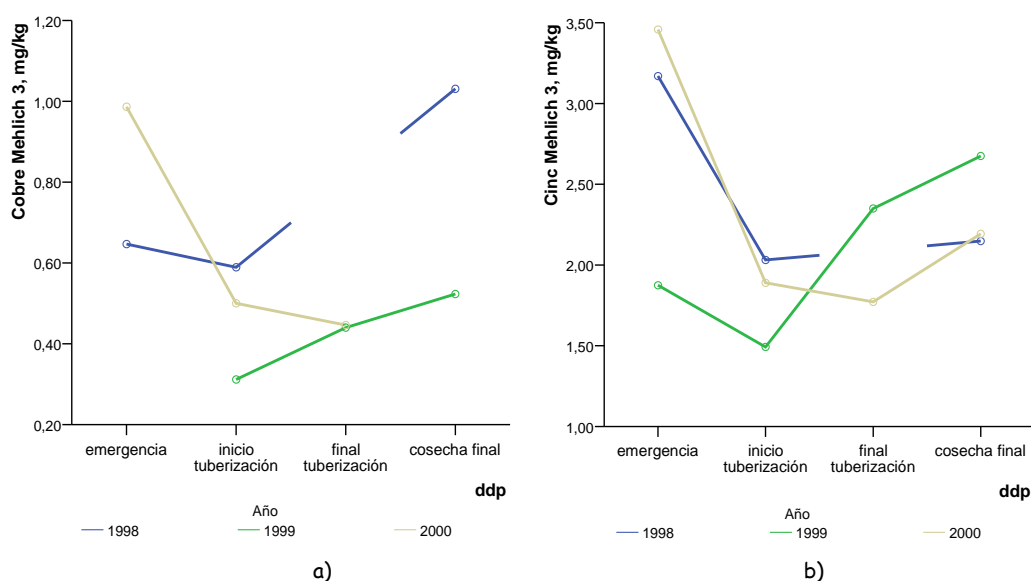


Figura 5.101.- Concentración de cobre y cinc disponible (mg kg^{-1}) para los tres años de estudio según el momento del ciclo vegetativo

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que el cinc disponible está influenciado significativamente ($p < 0,05$) por la fecha de muestreo en los tres años de estudio y por la fertilización fosfatada y potásica en los años 1998 y 2000, no habiendo interacción entre dichos factores (Tabla 5.123).

Tabla 5.123.- Diferencias significativas según las dosis de abonado

NITROGENO, kg ha^{-1}	Cobre, mg kg^{-1}		
	1998	1999	2000
0		0,75 b	0,38 a
130		0,44 a	0,75 ab
180		0,49 a	0,80 b
230		0,40 a	0,99 b

FOSFORO, $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	Cinc, mg kg^{-1}		
	1998	1999	2000
0	2,1 a		2,2 a
100	2,4 b		2,7 b
200	2,5 b		2,6 ab

POTASIO, $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$	Cinc, mg kg^{-1}		
	1998	1999	2000
0	2,1 a		2,2 a
150	2,5 b		2,2 a
300	2,5 b		3,0 b
450	2,4 b		2,6 ab

La disminución de las concentraciones de micronutrientes entre la emergencia y la tuberización indica una absorción por el cultivo. El aumento en la fase final del ciclo, cuando

las demandas de la planta han disminuido, puede resultar de la mineralización de materia orgánica.

Las concentraciones de micronutrientes disponibles (Mehlich 3) están correlacionadas significativamente con los siguientes parámetros del suelo mostrados en la Tabla 5.124.

Tabla 5.124.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de las concentraciones de micronutrientes asimilables (Mehlich 3) con distintos parámetros del suelo

	Hierro disponible	Manganeso disponible	Cobre disponible	Cinc disponible
pH en agua	-0,364**	0,076*	0,110*	-0,096**
pH en KCl	-0,456**	0,165*	0,144**	
P Olsen	0,256**		-0,150**	0,179**
P Mehlich 3	-0,586**	0,438**		0,255**
Nitrato		0,242**		0,170**
Amonio	0,159*	0,193**	-0,106**	0,074*
Nitrógeno total	-0,475**		-0,152**	-0,141**
Potasio de cambio	-0,347**	0,142**	0,214**	0,085*
Calcio de cambio	-0,546**	0,381**	0,134**	0,240**
Magnesio de cambio	0,103**	0,220**	0,086*	0,146**
CICE	-0,482**	0,245**	0,137**	0,110**
Hierro disponible (Mehlich 3)			-0,173**	
Manganeso disponible (Mehlich 3)				0,412**
Cobre disponible (Mehlich 3)	-0,173**			0,239**
Cinc disponible (Mehlich 3)		0,412**	0,239**	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Cabe destacar las correlaciones de Fe y Mn con el fósforo Mehlich 3. La primera puede reflejar la disminución del fósforo asimilable por precipitación con hierro. La segunda indica el aporte de manganeso con los fertilizantes fosfatados. Las correlaciones de Fe, Cu y Zn con el nitrógeno total son similares a las observadas en el ensayo de fertilización mixta.

5.3.2. Hoja y Pecíolo

Se presentan a continuación los efectos producidos por los diferentes tratamientos de fertilización NPK, en las concentraciones de carbono, macro y micronutrientes en hojas y pecíolos de patata. Cuando existen interacciones estadísticamente significativas entre variedad y fertilización o entre año y fertilización se estudiará el efecto de la fertilización en cada variedad o en cada año. En caso contrario se tratarán los tres años y las dos variedades juntamente.

Carbono en hoja y pecíolo

Como se puede apreciar en la Tabla 5.125, las concentraciones de carbono en hojas a media o final de estación oscilaron entre el 37% y el 45% en los tres años.

Tabla 5.125.- Porcentajes medios de carbono en hojas y pecíolos para las fechas estudiadas en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades

Carbono en hojas y pecíolos de patata (%referido a materia seca)						
Tratamiento	61 ddp		76 ddp		84 ddp	
	20/07/1998		26/07/1999		10/08/2000	
	Hoja	Pecíolo	Hoja	Pecíolo	Hoja	Pecíolo
CONTROL	41,0	39,8	40,0	31,8	42,8	37,8
N1P1K1	41,2	37,2	41,4	32,8	41,4	34,7
N1P1K2	40,9	37,4	41,7	33,0	42,5	34,8
N1P1K3	41,9	38,5	40,4	32,1	39,4	34,7
N1P2K1	41,8	36,7	40,7	32,3	42,1	36,4
N1P2K2	40,6	35,3	39,6	31,5	40,8	34,1
N1P2K3	41,1	36,7	41,1	32,6	42,0	33,2
N2P1K1	39,3	36,9	40,4	32,1	40,8	36,2
N2P1K2	39,8	37,4	40,6	32,3	42,5	35,0
N2P1K3	39,0	35,8	38,4	30,5	39,9	32,6
N2P2K1	40,3	36,1	41,5	32,7	40,9	37,1
N2P2K2	37,9	36,4	40,8	31,3	40,0	35,7
N2P2K3	39,4	36,0	40,1	31,9	41,6	32,7
N3P1K1	42,3	37,3	40,4	32,2	42,7	36,1
N3P1K2	41,2	37,3	41,4	33,4	44,1	34,4
N3P1K3	41,1	36,6	39,1	31,1	42,8	34,0
N3P2K1	41,5	37,0	41,4	33,4	42,2	36,3
N3P2K2	41,7	37,2	41,2	32,7	43,3	33,9
N3P2K3	40,7	37,2	40,4	32,3	39,1	35,7

Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, las concentraciones de carbono en pecíolo son menores que en hoja, variando entre 30 y 40%.

El porcentaje de carbono en hoja está afectado significativamente ($p<0,05$) por el año de ensayo y la fertilización nitrogenada, no habiendo interacción entre dichos factores. El porcentaje de carbono en peciolo está afectado significativamente ($p<0,05$) únicamente por el año. El porcentaje de carbono en hoja es significativamente mayor en el año 2000 que en 1998 y 1999. Curiosamente, el porcentaje de carbono en peciolo es mayor en el año 1998 (Figura 5.102). Los resultados para la influencia del año de ensayo en la concentración de carbono en peciolo coinciden con los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta, no así para la concentración en hoja.

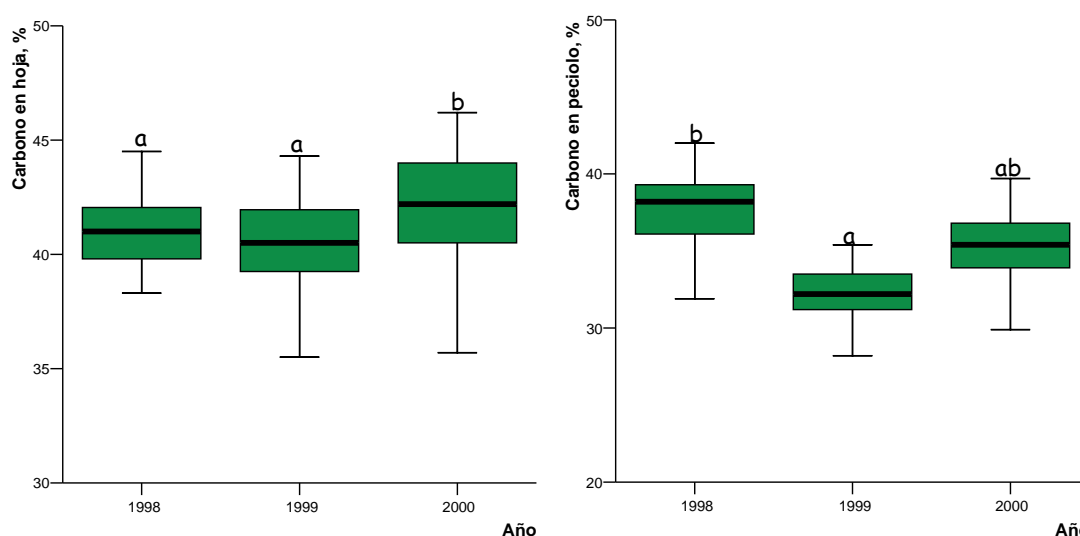


Figura 5.102.- Concentraciones de carbono en hoja y peciolo para los tres años de estudio en las dos variedades

El análisis de la influencia de la fertilización nitrogenada pone de manifiesto que las dosis N3 y N0 conducen a porcentajes de carbono en hoja significativamente ($p<0,05$) mayores que la dosis N2.

Nitrógeno en hoja y peciolo

Las concentraciones de nitrógeno en hoja de patata a media o final de estación en los tres años de ensayo oscilan en la mayoría de los tratamientos entre el 3 y el 6% para la variedad Agria y entre el 2 y el 6% para la variedad Kennebec (Tabla 5.126). Estos datos se encuentran casi dentro del intervalo (3-5%) considerado normal por Westermann (1990) para el período de media estación, para la variedad Russet Burbank, y próximos al 4% citado como normal por Walworth y Muniz (1993) (para las variedades Russet Burbank y Kufri). Los valores son algo superiores a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.126.- Porcentajes medios de nitrógeno en hojas y peciolo para la fecha estudiada en los tres años de ensayo (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades

Tratamiento	Nitrógeno en hojas y peciolo de patata (%referido a materia seca)					
	61 ddp		76 ddp		84 ddp	
	20/07/1998		26/07/1999		10/08/2000	
	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo
CONTROL	5,75	3,40	3,09	1,63	2,56	0,94
N1P1K1	5,91	3,79	3,67	2,32	3,99	3,16
N1P1K2	5,80	4,62	4,81	3,05	4,47	2,33
N1P1K3	5,53	3,05	4,70	2,53	3,29	1,57
N1P2K1	5,67	3,57	4,09	2,31	3,64	2,18
N1P2K2	5,56	3,05	3,63	2,03	3,58	2,07
N1P2K3	5,42	3,24	4,04	2,64	3,77	2,62
N2P1K1	5,43	3,09	3,89	2,65	3,66	3,38
N2P1K2	5,29	3,48	4,83	2,93	4,67	3,25
N2P1K3	5,87	2,77	4,53	2,35	3,65	2,86
N2P2K1	5,92	2,91	4,46	3,18	4,70	3,28
N2P2K2	5,42	4,29	4,57	3,03	3,79	1,96
N2P2K3	5,44	3,12	5,34	2,77	4,44	3,36
N3P1K1	5,70	3,02	4,31	2,90	4,82	3,47
N3P1K2	5,41	2,64	6,06	3,80	5,27	3,66
N3P1K3	6,02	3,33	4,87	2,70	4,81	3,37
N3P2K1	5,66	4,30	5,42	3,52	5,13	3,71
N3P2K2	5,71	2,62	4,84	3,17	5,36	3,03
N3P2K3	6,01	3,64	5,48	3,12	4,63	2,61

Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, la concentración de nitrógeno es más elevada en hojas que en peciolo. Las concentraciones de nitrógeno en peciolo a media estación o final de estación (Tabla 5.126) varían entre 1 y 5%. En 1998, año en que las muestras corresponden a media estación, los valores están por encima del intervalo considerado como normal (2-3%) por Westermann (1990). En los otros años, son en la mayoría de los tratamientos superiores a 2,75%, valor considerado normal por Walworth y Muniz (1993).

Los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo están afectados significativamente por el año de ensayo y la fertilización nitrogenada, habiendo interacción año x fertilización nitrogenada. El porcentaje de nitrógeno en hoja está influenciado significativamente ($p < 0,05$) también por la variedad, presentando valores mayores en la variedad Agria.

Las concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo son significativamente ($p < 0,05$) mayores en el año 1998 que en 1999 y 2000, (Figura 5.103). Estas diferencias se atribuyen al hecho de que las fechas muestreadas corresponden a distintas fases fisiológicas del cultivo. La pauta general de variación de las concentraciones de N en hoja y peciolo es la disminución de las mismas a medida que avanza el ciclo vegetativo (Lema, 1996).

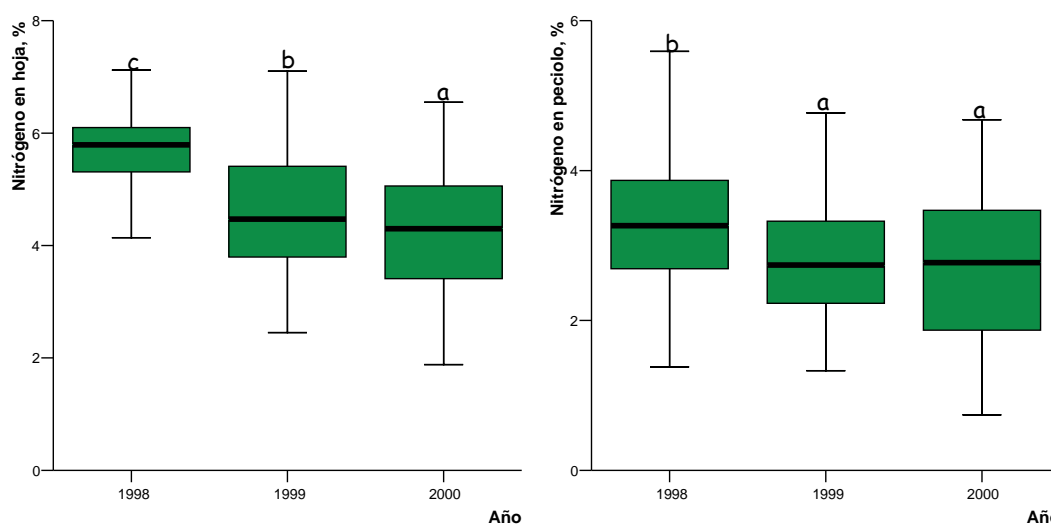


Figura 5.103.- Concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo para los tres años de estudio en las dos variedades

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo aumentan significativamente al hacerlo la dosis de nitrógeno en 1999 y 2000, de acuerdo con los resultados de Biemond y Vos (1992), mientras en 1998 no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de fertilización nitrogenada (Figura 5.104).

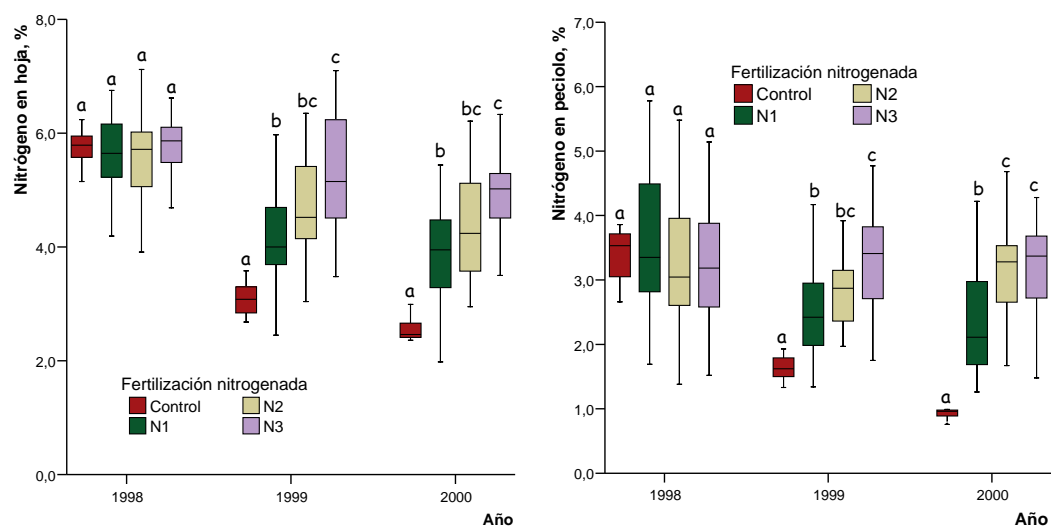


Figura 5.104.- Concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo para fertilización nitrogenada en las dos variedades para los tres años de estudio

Las concentraciones de N en hoja y peciolo están correlacionadas significativamente entre sí ($r = 0,539$, $p < 0,01$).

Asimismo se han encontrado correlaciones altamente significativas de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo con las concentraciones fósforo y potasio asimilables, de nitrato y amonio en el suelo, así como con las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo (Tabla 5.127).

Tabla 5.127.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de los porcentajes de nitrógeno en hoja y peciolo en las dos variedades con distintos parámetros del suelo

	% Nitrógeno en hoja	% Nitrógeno en peciolo
Fósforo Olsen en suelo	0,129*	0,161*
Fósforo Mehlich 3 en suelo	0,484**	0,210**
Nitrato en suelo	0,139*	0,189**
Amonio en suelo		0,209**
Potasio de cambio	0,364**	0,162*
Fósforo en hoja	0,351**	0,169**
Fósforo en peciolo	0,572**	0,261**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Relación C/N en hoja y peciolo

A partir de las concentraciones de carbono y nitrógeno en hoja y peciolo se calculan los valores de la relación carbono/nitrógeno de los distintos tratamientos (Tabla 5.128) para la fecha estudiada de cada uno de los tres años.

De acuerdo con la menor concentración de nitrógeno, las relaciones C/N en peciolo son mayores que en hoja, lo que refleja un menor contenido de proteína en peciolo, resultado de un mayor grado de lignificación.

Las relaciones de C/N en hoja están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la variedad y la fertilización nitrogenada, habiendo interacción año x fertilización nitrogenada y variedad x fertilización nitrogenada. Las relaciones de C/N en peciolo están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por el año y la fertilización nitrogenada, no habiendo interacción entre ambos factores.

Tabla 5.128.- Valores medios de la relación C/N en hojas y peciolo para la fecha estudiada de los tres años de muestreo (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades

Relación C/N en hojas y peciolo de patata (%referido a materia seca)						
Tratamiento	61 ddp		76 ddp		84 ddp	
	20/07/1998		26/07/1999		10/08/2000	
	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo	Hoja	Peciolo
CONTROL	7,1	11,9	13,0	19,8	17,0	40,9
N1P1K1	7,0	10,5	11,4	14,3	10,7	11,1
N1P1K2	7,1	8,6	8,9	12,0	9,6	15,7
N1P1K3	7,8	13,6	8,9	13,1	12,6	22,8
N1P2K1	7,4	24,4	10,7	15,5	12,8	19,2
N1P2K2	7,5	12,5	11,0	16,8	12,0	17,8
N1P2K3	7,8	11,5	10,3	13,2	11,3	14,6
N2P1K1	7,3	12,5	10,5	12,2	11,4	10,9
N2P1K2	7,7	11,7	8,8	11,4	9,2	11,1
N2P1K3	6,8	14,1	8,5	13,1	11,0	14,0
N2P2K1	6,9	12,9	9,8	11,2	9,0	11,7
N2P2K2	7,1	9,1	9,2	10,4	10,6	18,6
N2P2K3	7,3	12,8	7,7	12,0	9,8	10,0
N3P1K1	7,5	13,5	9,6	11,1	8,9	10,4
N3P1K2	7,9	16,1	7,0	8,9	8,6	10,9
N3P1K3	6,9	11,4	8,7	12,8	9,0	10,5
N3P2K1	7,4	9,0	7,9	9,9	8,5	9,9
N3P2K2	7,3	15,7	8,6	11,0	8,1	11,5
N3P2K3	6,8	10,7	7,6	10,8	8,6	14,7

La relación C/N en hoja y peciolo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 2000, de acuerdo con la menor concentración de nitrógeno. De forma similar, las muestras analizadas en el año 2000 corresponden a la fecha más tardía. Las relaciones C/N en hoja son significativamente ($p < 0,05$) mayores en la variedad Kennebec que en la Agria.

Analizando separadamente cada variedad y cada año de ensayo, se observa que las relaciones C/N en hoja son significativamente ($p < 0,05$) mayores en el control que con cualquiera de las dosis de fertilización.

Fósforo en hoja y peciolo

Las concentraciones de fósforo en hoja presentan valores comprendidos entre 1,8 y 7,7 g kg⁻¹ de materia seca en 1998, entre 2,8 y 5,0 en 1999 y entre 2,5 y 5,6 en 2000 (Tabla 5.129). Las concentraciones de fósforo en peciolo varían entre 2,4 y 5,7 g kg⁻¹ de materia seca en 1998, entre 1,8 y 4,0 en 1999 y entre 1,4 y 4,7 en 2000 (Tabla 5.130).

Tabla 5.129.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Fósforo (g kg^{-1}) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	5,6	4,8	3,5	3,0	3,1	3,1	2,9	4,1	3,6	2,6	3,0
N1P1K1	4,8	5,5	4,2	3,2	3,8	3,8	3,3	4,2	3,0	3,0	2,7
N1P1K2	6,8	5,7	4,7	3,1	3,8	3,2	3,5	4,3	3,4	3,1	3,8
N1P1K3	5,6	4,0	4,5	3,2	3,5	3,4	3,5	4,5	3,2	3,6	3,5
N1P2K1	6,3	4,8	4,5	3,1	3,6	3,5	3,6	4,7	3,7	3,0	3,7
N1P2K2	5,2	6,1	4,2	3,1	3,0	3,2	3,0	5,6	3,4	3,2	3,4
N1P2K3	6,5	4,3	3,6	3,0	4,1	3,8	3,8	4,4	3,0	3,8	3,1
N2P1K1	7,5	1,8	4,5	2,8	3,3	3,2	3,1	4,4	2,8	2,9	2,5
N2P1K2	7,3	2,9	4,3	3,0	3,7	3,9	3,7	4,4	3,0	3,4	3,4
N2P1K3	4,1	5,5	4,7	3,2	4,2	4,7	4,3	4,2	3,1	3,2	2,7
N2P2K1	7,7	2,0	4,4	3,3	3,9	4,0	3,8	4,6	3,4	3,2	3,7
N2P2K2	5,6	3,5	3,8	3,2	4,0	3,7	3,5	5,2	3,5	4,2	3,6
N2P2K3	5,3	3,8	4,5	2,9	4,7	5,0	4,5	4,4	3,4	3,2	3,1
N3P1K1	5,3	4,0	3,9	3,6	3,7	3,7	3,4	4,5	3,0	3,5	2,8
N3P1K2	4,3	4,4	4,3	3,4	4,3	3,7	4,2	4,5	3,3	3,2	3,7
N3P1K3	6,6	2,2	4,0	2,8	3,2	3,5	3,4	3,8	2,7	2,8	3,1
N3P2K1	4,7	3,9	4,2	3,1	4,4	4,0	4,2	4,5	3,5	3,5	3,9
N3P2K2	6,0	5,0	4,1	2,9	3,4	3,1	3,3	4,7	3,5	3,9	4,4
N3P2K3	5,2	3,2	4,2	3,0	4,4	4,1	4,0	4,5	3,2	3,6	3,2

Las concentraciones de fósforo en hoja están dentro del rango considerado como suficiente en hojas de patata ($2,0$ a $7,0 \text{ g kg}^{-1}$) por Gupta *et al.* (1995) para la variedad Russet Burbank. Los valores en general son comparables al valor óptimo de $0,39\%$ publicado por Sanz *et al.* (1982) para los 65 d.d.p y en todo caso mayores que el valor crítico de $0,22\%$ citado por Westermann y Kleinkopf (1984) para la variedad Russet Burbank, por debajo del cual la producción de materia seca es insuficiente para el desarrollo de los tubérculos. Para el final de la estación (última fecha), los valores aquí obtenidos son superiores o iguales al valor $0,2\%$ citado como normal por Walworth y Muniz (1993). Los niveles de fósforo en hoja son elevados durante todo el ciclo del cultivo en 1998 y aceptables en 1999 y 2000.

Las concentraciones de fósforo en peciolo al inicio de la tuberización se encuentran en general dentro del rango ($0,37$ - $0,42\%$) considerado adecuado por Freeman *et al.* (1998) en 1998 y 2000 y por debajo de los rangos recomendados para la variedad Kennebec en 1999.

Tabla 5.130.- Concentraciones medias de fósforo (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las dos variedades (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Fósforo (g kg^{-1}) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	5,3	3,3	4,0	2,5	1,8	2,0	2,0	3,6	2,8	2,5	1,9
N1P1K1	5,4	3,7	2,4	2,9	2,1	2,7	2,4	3,5	2,4	2,8	1,7
N1P1K2	5,0	3,4	3,3	3,0	2,8	2,9	3,0	3,7	2,9	2,7	2,1
N1P1K3	4,9	4,5	3,9	2,4	2,6	2,9	2,7	3,8	3,4	2,6	1,4
N1P2K1	5,3	4,3	3,3	2,7	2,4	2,5	2,7	4,2	3,9	3,9	2,4
N1P2K2	5,6	3,5	2,6	2,6	2,0	2,1	2,3	4,7	2,6	2,5	1,9
N1P2K3	5,0	5,0	3,7	2,6	2,4	2,5	2,8	3,9	3,3	2,8	2,4
N2P1K1	5,4	3,2	3,9	2,4	2,1	2,5	2,4	3,8	2,5	2,7	1,4
N2P1K2	5,3	3,5	2,6	2,8	2,7	3,0	3,0	3,8	3,1	3,6	2,3
N2P1K3	4,6	3,4	3,2	2,7	2,3	2,3	2,5	3,4	2,4	4,3	1,8
N2P2K1	5,6	3,5	3,4	3,2	3,7	4,0	3,8	3,8	3,2	3,3	2,5
N2P2K2	4,7	3,5	3,1	2,9	2,9	2,6	2,9	3,1	3,1	3,5	2,7
N2P2K3	5,3	3,4	3,6	2,7	2,8	3,4	3,1	3,5	2,8	3,4	2,0
N3P1K1	4,7	3,8	2,7	3,3	2,5	2,4	2,9	4,0	2,4	3,7	1,7
N3P1K2	5,7	5,2	2,6	3,1	3,3	3,4	3,6	4,3	2,9	3,1	2,3
N3P1K3	5,5	3,4	3,2	2,5	3,0	3,1	3,2	3,1	2,4	2,2	1,8
N3P2K1	5,6	4,2	2,8	3,1	3,3	3,5	3,3	3,9	3,3	2,5	2,9
N3P2K2	5,1	4,9	3,3	2,6	2,7	2,4	2,9	4,3	3,2	2,5	2,9
N3P2K3	4,7	3,6	2,9	2,6	2,6	3,0	3,1	4,5	3,4	3,1	2,4

Las concentraciones de fósforo en hoja están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización fosfatada, habiendo interacción año x fecha y año x fertilización fosfatada. Las concentraciones de fósforo en peciolo están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización fosfatada, habiendo interacción año x fecha. La variedad no influye significativamente en las concentraciones de P en hoja ni peciolo.

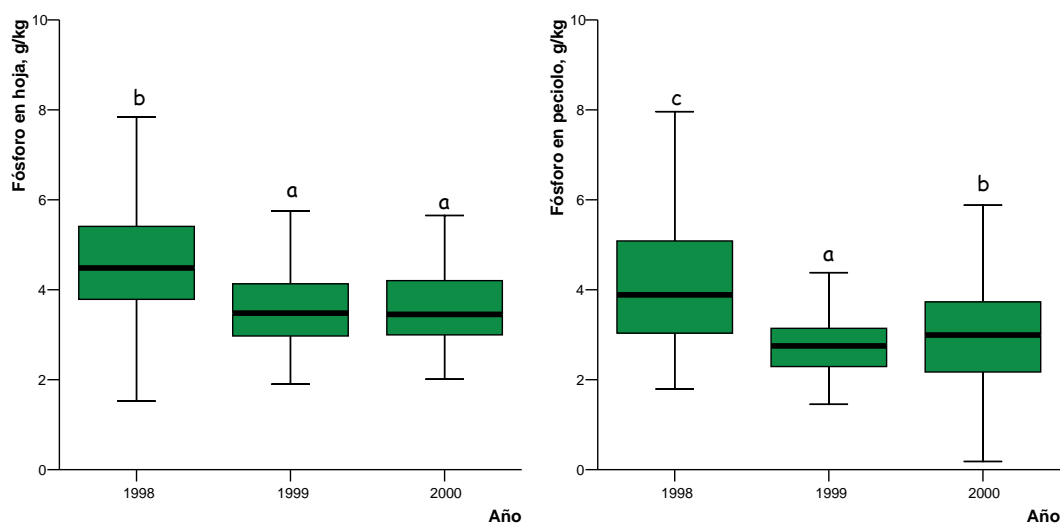


Figura 5.105. Concentración de fósforo en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio

Las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente ($p<0,05$) mayores en 1998 que en 1999 y 2000 (Figura 5.105), de acuerdo con las concentraciones relativas de fósforo Mehlich 3 en el suelo.

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo están influenciadas significativamente ($p<0,05$) por la fecha en 1998 y 2000 y por la fertilización fosfatada en 1999 y 2000. La concentración de fósforo en hoja está afectada por la fecha también en 1999.

A lo largo del ciclo del cultivo, se produce un descenso de las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo en 1998 y 2000 (Figura 5.106), concordando con lo referido por otros autores como Roberts y Dow (1982), Westermann y Kleinkopf (1984) y Lema (1996). En 1999 la concentración de fósforo en peciolo no está influenciada significativamente por la fecha, mientras la concentración en hoja experimenta un crecimiento después del inicio de la tuberización y un ligero (no significativo) descenso posterior.

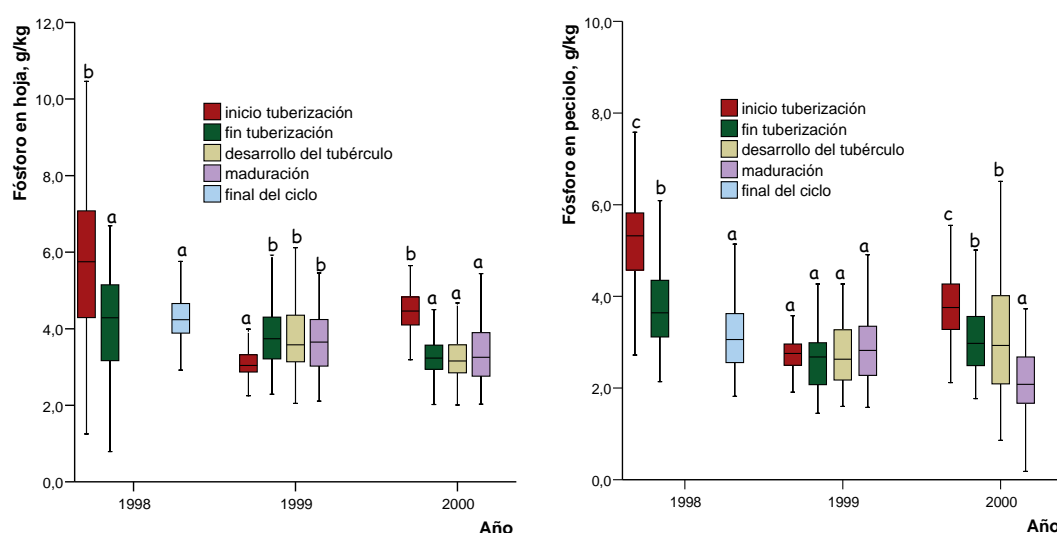


Figura 5.106. Concentración de fósforo en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación

Las concentraciones de P en hoja y peciolo se correlacionan significativamente entre sí ($p<0,01$, $r=0,485$). Asimismo se han encontrado correlaciones altamente significativas ($p<0,01$) con las concentraciones de fósforo Mehlich 3 y otros nutrientes asimilables en el suelo, así como con las concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo (Tabla 5.131).

Tabla 5.131.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de fósforo en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Fósforo en hoja	Fósforo en peciolo
Fósforo Olsen en suelo		0,126**
Fósforo Mehlich 3 en suelo	0,364**	0,462**
Nitrato en suelo	0,144**	0,287**
Nitrógeno total en suelo	0,119**	0,139**
Calcio de cambio en suelo	0,309**	0,322**
Manganeso Mehlich 3	0,294**	0,367**
Cinc Mehlich 3	0,293**	0,302**
Nitrógeno en hoja	0,351**	0,572**
Nitrógeno en peciolo	0,169**	0,261**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Las correlaciones con P Olsen y P Mehlich 3 confirman la mejor adecuación del reactivo Mehlich 3 para la determinación de P asimilable en estos suelos.

La correlación altamente significativa entre concentraciones de N y P en hoja parece confirmar la influencia positiva del fósforo en la absorción de nitrógeno, comentada en el apartado de suelos y observada también en el ensayo de fertilización mixta.

Potasio en hoja y peciolo

La concentración de potasio en hoja varía entre 22,5 y 64,0 g kg⁻¹ de materia seca en 1998, entre 16,7 y 73,9 en 1999 y entre 16,1 y 88,5 en 2000 (Tabla 5.132).

Tabla 5.132.- Concentraciones medias de potasio (g kg⁻¹) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para la variedad Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Potasio (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Agria											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	33,0	26,5	24,4	47,6	35,3	29,5	22,7	34,5	31,5	25,6	16,1
N1P1K1	36,2	38,1	41,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	48,8	40,4	39,0	64,8	31,6	32,9	30,1	46,8	49,2	43,9	61,6
N1P1K3	50,3	46,8	35,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	54,0	36,0	34,0	52,0	39,8	40,1	23,9	39,5	30,7	19,8	17,7
N1P2K2	49,6	36,8	47,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	52,5	44,7	24,2	56,0	42,4	44,9	39,9	50,4	55,1	47,2	46,6
N2P1K1	34,0	32,8	39,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	39,5	30,1	35,5	47,5	29,0	30,9	24,4	40,2	38,0	39,1	34,9
N2P1K3	49,1	44,4	30,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	47,1	33,2	32,3	47,5	34,8	37,7	34,0	37,1	32,2	30,5	20,8
N2P2K2	38,8	26,0	28,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	45,1	37,4	26,3	60,7	49,4	51,0	44,8	56,6	58,6	68,6	66,2
N3P1K1	39,2	35,5	31,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	45,5	40,9	28,9	49,0	26,4	28,0	16,7	48,4	46,2	50,3	36,9
N3P1K3	49,6	45,2	35,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	52,0	37,7	31,0	46,8	34,0	36,1	23,1	34,9	27,5	26,5	23,5
N3P2K2	41,9	33,2	22,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	48,2	40,3	28,0	57,2	48,7	52,2	41,1	54,6	56,5	50,8	71,4

Potasio (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Kennebec											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	37,8	33,0	29,9	60,3	36,4	40,4	18,6	39,6	32,5	27,1	18,6
N1P1K1	40,9	39,2	35,0	44,7	34,5	34,2	18,3	45,3	48,7	37,8	29,6
N1P1K2	38,9	42,2	49,2	73,9	46,3	47,9	32,0	59,0	57,3	70,6	46,7
N1P1K3	52,9	47,3	41,5	68,9	49,8	53,2	41,3	59,1	58,5	60,3	79,9
N1P2K1	58,5	41,8	45,8	63,8	36,2	37,6	33,6	45,6	41,5	33,5	45,9
N1P2K2	43,2	38,6	42,7	62,8	47,3	49,2	40,3	61,7	70,8	57,8	57,8
N1P2K3	64,0	54,3	39,5	63,0	62,7	68,9	32,5	54,4	50,8	64,9	63,7
N2P1K1	31,3	27,6	36,6	50,2	27,1	27,5	27,9	40,4	28,6	32,7	34,2
N2P1K2	46,4	39,2	46,8	61,4	34,4	35,5	27,1	58,8	47,0	35,8	37,1
N2P1K3	58,8	50,5	38,8	72,3	56,0	56,2	41,9	56,0	61,0	55,1	88,5
N2P2K1	47,2	38,5	48,6	71,5	40,3	41,8	18,6	41,9	44,6	34,7	34,7
N2P2K2	45,8	38,4	41,8	62,7	45,8	43,8	26,4	60,8	49,0	48,4	61,1
N2P2K3	45,9	51,1	40,8	62,3	49,8	49,8	26,1	49,1	60,9	81,0	83,3
N3P1K1	35,1	31,1	23,6	54,7	28,5	28,4	21,0	42,1	42,3	39,6	38,9
N3P1K2	49,1	49,9	31,7	59,7	33,6	34,3	28,0	51,6	57,6	38,8	46,2
N3P1K3	54,7	49,6	42,7	70,2	52,7	56,2	46,1	57,8	59,3	60,1	82,4
N3P2K1	45,2	40,7	45,1	73,2	34,6	34,6	26,7	37,4	56,0	37,1	37,1
N3P2K2	47,9	38,9	38,3	56,8	33,2	34,8	25,7	46,5	53,8	50,4	51,1
N3P2K3	61,6	55,1	50,5	70,3	51,5	53,3	35,5	50,0	55,9	76,1	82,0

Las concentraciones de potasio en peciolo son mayores que en hoja, variando entre 23,8 y 140,6 g kg⁻¹ de materia seca en 1998, entre 17,9 y 157,4 en 1999 y entre 13,7 y 185,8 en 2000 (Tabla 5.133), de acuerdo con los resultados de otros autores (Sharma y Arora, 1989).

Las concentraciones de potasio en hoja y peciolo son, en general, inferiores a las determinadas en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.133.- Concentraciones medias de potasio (g kg⁻¹) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Potasio (g kg ⁻¹) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	85,2	37,5	60,6	90,4	75,9	66,9	28,8	44,9	37,4	31,4	14,7
N1P1K1	103,5	44,2	79,2	80,0	67,5	65,0	20,7	46,1	50,3	44,5	56,6
N1P1K2	111,7	48,6	83,2	103,0	84,7	86,6	31,6	53,8	74,9	52,9	105,9
N1P1K3	106,7	51,3	70,0	144,7	123,7	135,2	56,4	60,4	143,7	53,1	39,8
N1P2K1	96,1	39,8	85,6	106,1	88,1	93,3	30,3	59,4	58,2	63,2	38,1
N1P2K2	99,0	39,4	87,6	108,7	104,8	102,8	36,6	72,5	71,5	61,8	130,7
N1P2K3	98,2	39,7	71,2	113,0	100,3	98,4	54,9	62,0	78,7	48,2	127,6
N2P1K1	98,1	28,3	80,2	86,2	66,5	62,7	29,9	45,8	73,3	48,3	44,8
N2P1K2	99,2	37,9	88,4	99,3	67,1	69,1	30,0	51,0	62,8	41,0	63,0
N2P1K3	109,2	50,8	84,6	147,0	123,1	121,7	57,4	54,8	142,6	88,9	129,6
N2P2K1	117,3	35,2	84,7	87,6	86,3	90,1	43,8	48,6	59,6	48,8	26,4
N2P2K2	103,8	29,6	61,5	103,0	89,7	94,3	32,0	43,7	63,4	36,0	74,2
N2P2K3	105,2	35,1	72,5	97,7	105,1	113,2	59,8	59,1	112,5	82,8	138,1
N3P1K1	92,7	39,6	52,1	87,0	63,8	60,4	17,9	55,5	42,9	32,1	52,8
N3P1K2	100,2	49,4	62,4	103,9	75,0	71,9	28,4	53,4	44,7	53,6	97,7
N3P1K3	118,7	52,1	82,4	126,5	114,5	108,5	67,0	66,3	102,0	49,7	185,8
N3P2K1	93,0	42,8	70,5	105,6	88,5	78,2	31,2	54,1	63,0	58,0	43,7
N3P2K2	106,3	32,9	61,9	114,0	72,4	72,0	21,5	57,3	85,9	44,9	134,7
N3P2K3	107,6	37,3	73,2	138,7	93,5	93,9	61,5	69,0	94,9	56,2	92,7

Las concentraciones de potasio en hoja a media estación son en general superiores al óptimo de 3,5% propuesto por Walworth y Muniz (1993) para diversas variedades de patata. Igualmente, a finales de estación son generalmente superiores al valor de 2,5% propuesto como normal por los mismos autores. En general las concentraciones están dentro del intervalo de 4 a 8%, normal según Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank durante la formación de la cosecha.

Al inicio de la tuberización, las concentraciones de potasio en peciolo en 1998 y 1999 están próximas a los intervalos de 12-14% (Chapman *et al.*, 1992) y 11-14,1% (Maier *et al.*, 1994b), recomendados para el máximo rendimiento de la variedad Kennebec. Las concentraciones en 2000 son muy inferiores a estos valores. Las concentraciones determinadas a finales de estación están en los tres años de ensayo generalmente por debajo del rango 8-9%, crítico para las variedades Kennebec, Jaerla y Baraka según Dow y Roberts (1982).

Las concentraciones de potasio en peciolo son superiores a las de nitrógeno y fósforo, de acuerdo con Prummel y von Barnau-Sijthoff (1984).

Las concentraciones de potasio en hoja están afectadas significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la variedad y la fertilización potásica, habiendo interacciones año x fecha, año x fertilización potásica y fecha x fertilización potásica. Las concentraciones de potasio en peciolo están afectadas significativamente por los mismos factores que las concentraciones de potasio en hoja excepto la variedad.

Las concentraciones de potasio en hoja a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente ($p < 0,05$) mayores en 2000 que en 1999 y 1998 (Figura 5.107).

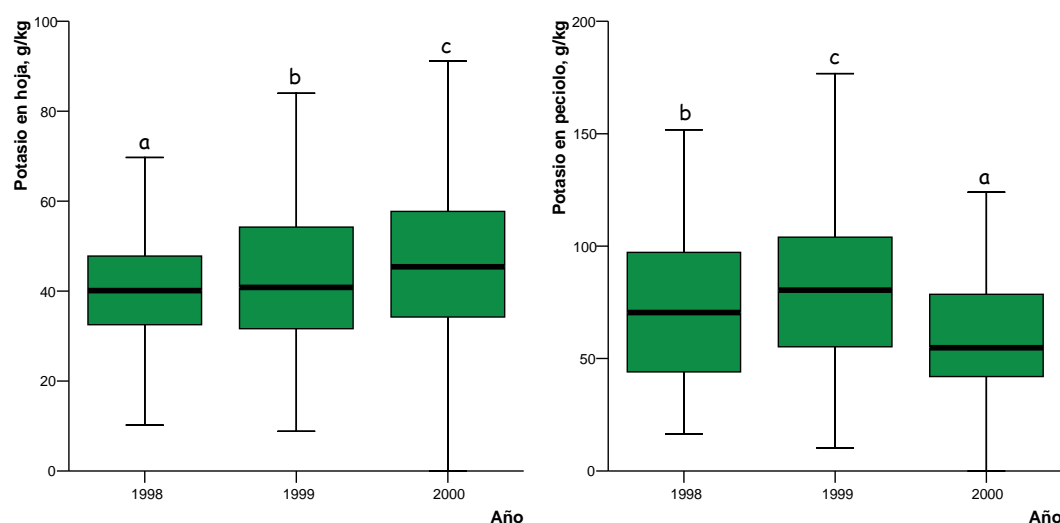


Figura 5.107. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio

Sorprendentemente, las concentraciones de potasio en peciolo a lo largo del ciclo vegetativo son significativamente mayores en 1999 que en 1998 y 2000 (Figura 5.107). La menor concentración de potasio en peciolo en 2000 está de acuerdo con la menor concentración de potasio de cambio en el suelo. Sin embargo, el año 2000 es el de mayor producción de tubérculo, como se verá en el capítulo correspondiente, por lo que no parece que las concentraciones de potasio sean limitantes.

Las concentraciones de potasio en hoja son significativamente ($p < 0,05$) mayores en la variedad Kennebec que en la variedad Agria, mientras la variedad no ejerce una influencia significativa sobre la concentración de potasio en peciolo. En general, las concentraciones de potasio en hoja y peciolo disminuyen a medida que avanza el ciclo vegetativo (Figura 5.108), coincidiendo con lo observado en el ensayo de fertilización mixta y con los resultados de otros autores (Sharma y Arora, 1989; Lema, 1996).

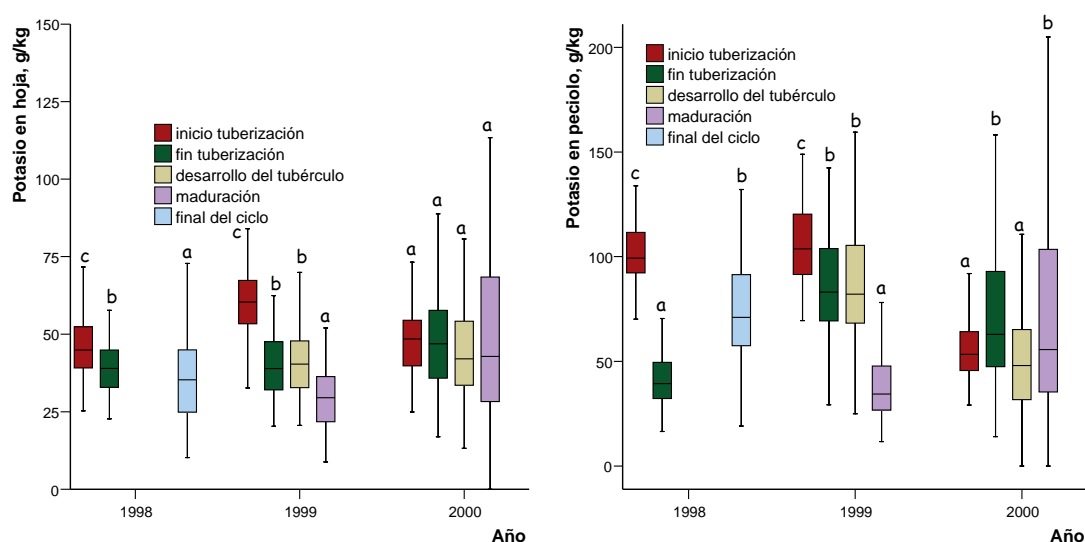


Figura 5.108. Concentración de potasio en hoja y peciolo, g kg^{-1} , para los tres años en función de los días después de la plantación

En cuanto a la fertilización potásica, las concentraciones de potasio en hoja y peciolo aumentan en general al hacerlo el nivel de fertilización potásica.

Las concentraciones de K en hoja y peciolo se correlacionan significativamente entre sí ($p < 0,01$, $r = 0,446$). Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.134. Las correlaciones con las concentraciones de fósforo y magnesio en hoja y peciolo parecen indicar sinergia entre potasio y fósforo y antagonismo entre potasio y magnesio.

Tabla 5.134.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de potasio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Potasio en hoja	Potasio en peciolo
Potasio de cambio en suelo	0,267**	0,108**
Fósforo en hoja		0,114**
Fósforo en peciolo		0,084**
Magnesio en hoja	-0,133**	-0,201**
Magnesio en peciolo	-0,356**	-0,200**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Calcio en hoja y peciolo

Las concentraciones de calcio en hoja (Tabla 5.135) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta y se encuentran en general dentro de los rangos considerados adecuados por diversos autores: 5-20 g kg⁻¹ (Bergmann y Bergmann, 1985); 6-20 g kg⁻¹ (Walworth y Muniz, 1993); 5-30 g kg⁻¹ (Gupta *et al.*, 1995). Únicamente en la fecha de inicio de la tuberización en 2000, las concentraciones de calcio en hoja se encuentran por debajo de estos rangos. Sin embargo, puesto que en el año 2000 es cuando se obtienen mayores rendimientos (como se verá en el capítulo correspondiente al tubérculo), no parece que las concentraciones de calcio supongan una limitación para el cultivo.

Tabla 5.135.- Concentraciones medias de calcio (g kg⁻¹) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Calcio (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Agria											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	13,4	13,4	17,6	17,5	16,1	26,2	21,6	4,6	9,0	13,7	18,1
N1P1K1	12,4	12,2	11,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	12,3	10,4	12,3	23,4	16,9	23,6	18,0	5,2	9,2	10,5	12,1
N1P1K3	12,8	11,2	14,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	18,5	14,5	11,7	16,6	16,0	24,9	17,6	4,2	10,0	9,9	13,2
N1P2K2	13,8	10,2	12,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	14,5	13,8	15,4	22,3	16,5	23,2	16,0	4,0	9,1	11,0	17,2
N2P1K1	11,5	12,7	15,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	12,1	15,3	14,2	18,0	16,8	26,2	16,7	4,9	8,7	9,1	12,4
N2P1K3	12,5	10,9	15,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	16,0	14,7	12,0	19,5	16,9	27,9	19,8	4,8	8,7	14,0	15,9
N2P2K2	12,5	13,2	19,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	14,9	14,0	15,7	25,1	16,5	26,0	20,2	4,4	9,2	7,0	14,1
N3P1K1	13,1	10,9	17,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	13,4	11,6	16,3	17,4	16,3	25,3	21,2	5,4	7,3	8,9	13,5
N3P1K3	12,8	10,4	14,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	17,3	13,0	15,4	14,0	18,9	31,4	20,4	4,5	8,5	10,8	15,3
N3P2K2	11,6	11,5	15,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	15,0	10,3	13,4	23,3	16,3	26,0	15,8	4,2	7,8	7,2	11,9

Calcio (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Kennebec											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	12,8	11,6	15,5	17,4	18,2	29,4	23,2	3,9	7,3	11,5	17,2
N1P1K1	11,6	12,7	14,3	17,1	17,3	25,3	24,1	3,6	8,3	9,5	10,3
N1P1K2	11,6	11,7	13,3	15,3	16,1	25,2	22,5	3,7	6,3	11,3	12,7
N1P1K3	9,7	10,2	10,5	17,2	15,3	24,5	18,6	4,0	7,9	10,0	15,3
N1P2K1	14,1	21,3	13,8	16,8	17,0	25,5	21,2	4,0	7,4	9,4	14,3
N1P2K2	10,0	5,3	11,4	14,9	14,3	22,4	21,9	3,6	6,5	10,6	11,6
N1P2K3	12,1	10,0	11,6	14,5	14,6	23,1	18,5	3,4	6,1	7,6	13,4
N2P1K1	10,2	12,7	15,5	13,9	17,0	26,8	23,0	3,5	7,5	9,7	14,1
N2P1K2	7,2	8,1	18,1	15,6	18,3	28,4	23,3	4,2	8,0	7,8	11,9
N2P1K3	10,6	8,9	12,2	15,7	14,4	21,6	15,3	3,4	9,2	7,3	15,1
N2P2K1	11,4	11,1	13,5	14,8	15,5	25,3	17,5	3,5	7,9	8,2	10,4
N2P2K2	9,4	8,3	17,0	12,9	16,5	24,3	17,8	4,6	7,4	8,6	12,2
N2P2K3	11,4	9,9	14,0	15,6	13,3	19,6	16,9	3,0	7,9	7,6	12,9
N3P1K1	11,4	12,8	17,0	16,0	18,9	28,4	21,9	3,8	6,0	7,5	11,5
N3P1K2	8,7	7,7	15,2	14,2	17,5	26,8	16,6	3,6	10,7	6,8	9,8
N3P1K3	12,0	8,8	16,6	13,7	13,7	22,0	15,2	3,6	7,1	8,8	12,6
N3P2K1	10,9	11,0	14,7	15,5	13,6	19,5	20,0	3,5	7,8	7,3	9,3
N3P2K2	8,4	8,4	16,0	14,2	14,6	22,8	18,5	3,7	6,0	6,8	7,1
N3P2K3	11,7	9,2	13,5	14,0	12,0	18,1	14,9	3,3	6,2	7,4	10,1

Tabla 5.136.- Concentraciones medias de calcio (g kg⁻¹) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Calcio (g kg ⁻¹) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo, Agria											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	11,0	14,3	13,0	16,0	13,4	18,2	14,9	5,2	7,3	8,1	12,6
N1P1K1	11,8	12,1	9,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	9,3	8,5	10,3	20,7	17,1	24,4	13,4	5,5	8,0	7,9	10,4
N1P1K3	10,0	11,8	12,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	12,4	13,2	11,2	14,6	15,7	24,3	13,6	5,7	11,6	9,2	13,3
N1P2K2	11,6	8,6	8,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	12,4	12,6	12,6	19,9	17,7	21,7	12,6	5,6	11,1	10,3	12,4
N2P1K1	10,5	10,8	11,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	9,7	12,1	10,7	16,2	17,6	25,3	12,6	5,8	10,1	7,6	9,2
N2P1K3	10,2	13,3	11,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	18,6	12,6	11,2	15,2	16,6	26,6	15,9	6,5	8,8	8,9	10,2
N2P2K2	10,8	10,0	16,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	13,0	10,1	12,9	19,9	16,7	23,3	16,4	5,3	9,2	6,6	8,8
N3P1K1	10,2	10,3	11,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	10,2	12,1	11,5	13,7	16,3	24,8	15,1	5,1	6,7	6,5	8,9
N3P1K3	11,2	10,5	10,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	13,1	11,9	12,2	14,5	18,1	27,4	14,0	5,5	11,4	6,6	10,7
N3P2K2	9,2	12,3	13,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	11,6	11,0	12,0	21,2	18,2	27,5	17,7	4,8	10,3	9,0	10,7

Calcio (g kg ⁻¹) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo, Kennebec											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	8,9	14,0	13,1	16,5	18,2	24,9	16,6	4,9	7,4	8,6	10,8
N1P1K1	8,0	10,5	11,9	14,2	14,5	23,1	15,2	4,9	6,8	6,6	14,7
N1P1K2	9,1	9,0	13,0	12,1	17,2	24,6	17,1	4,5	6,2	7,6	9,3
N1P1K3	9,2	10,2	12,3	13,2	11,1	16,8	13,8	5,1	9,1	8,0	9,0
N1P2K1	10,1	11,0	10,9	15,0	12,9	20,8	16,0	3,8	9,5	9,9	12,1
N1P2K2	7,0	7,8	10,8	15,7	13,9	18,8	14,6	4,4	7,8	7,3	10,3
N1P2K3	8,4	9,2	9,8	12,8	16,5	21,8	12,2	3,8	7,1	9,6	13,2
N2P1K1	8,3	9,6	12,1	11,4	16,8	24,8	15,5	4,7	6,8	6,8	7,9
N2P1K2	5,8	7,2	14,1	15,0	17,1	26,2	17,6	5,2	8,0	6,7	8,6
N2P1K3	8,5	9,8	11,8	14,5	13,6	19,4	13,7	4,6	9,7	7,7	9,9
N2P2K1	9,1	8,4	10,5	12,2	16,1	24,3	18,0	4,2	8,8	10,6	5,6
N2P2K2	6,4	6,6	11,4	11,4	14,5	22,7	14,2	4,9	8,6	7,0	8,2
N2P2K3	8,4	11,2	10,9	12,0	12,1	18,9	12,4	3,8	6,5	7,7	8,5
N3P1K1	7,9	11,9	11,7	12,3	15,7	22,6	11,9	3,9	5,9	7,2	7,3
N3P1K2	6,1	5,5	12,9	12,2	16,0	22,0	12,8	4,7	7,3	6,1	6,7
N3P1K3	9,1	8,9	12,3	14,1	12,4	17,8	14,4	4,7	8,2	6,9	8,1
N3P2K1	6,6	8,3	11,6	12,1	13,1	18,9	12,4	3,8	6,6	6,4	7,1
N3P2K2	5,0	7,2	11,1	13,6	14,5	21,3	15,6	3,9	6,9	5,9	9,0
N3P2K3	9,5	8,4	8,6	12,8	13,4	18,5	11,5	3,3	6,5	6,1	8,9

Las concentraciones de calcio en peciolo (Tabla 5.136) son ligeramente inferiores a las concentraciones de calcio en hoja, lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta. En 1998 y 2000 están dentro del intervalo considerado como adecuado para patatas regadas (4 a 14 g kg⁻¹) por Maier *et al.* (1987) y en 1999 dentro del intervalo (15 a 25 g kg⁻¹) considerado normal a media estación por Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank. A finales de estación las concentraciones están por encima del rango de 5,4-5,8 g kg⁻¹ citado por Walworth y Muniz (1993) para las variedades Russet Burbank y Kufri.

Las concentraciones de calcio en hoja están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la variedad, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha, año x fertilización fosfatada, año x fertilización potásica. Las concentraciones de calcio en peciolo están afectadas significativamente por el año, la fecha de muestreo, la variedad y la fertilización nitrogenada, habiendo interacción año x fecha, año x fertilización nitrogenada y año x fertilización potásica.

Las concentraciones de calcio en hoja y en peciolo varían significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 1998 > 2000 (Figura 5.109). Las concentraciones de calcio son significativamente ($p < 0,05$) mayores en la variedad Agria que en la variedad Kennebec.

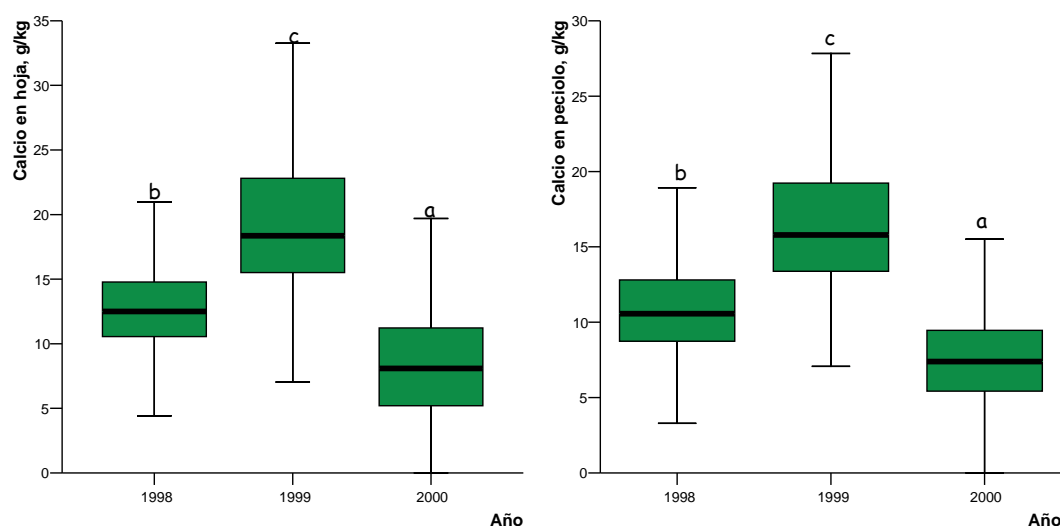


Figura 5.109. Concentración de calcio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio en las dos variedades

Las concentraciones de calcio en hoja y en peciolo son máximas al final de la tuberización en 1999, mientras en 1998 y 2000 los valores más altos corresponden al final del ciclo (Figura 5.110). Manrique y Uehara (1984a y b; citado por Lema, 1996) indica que se produce una acumulación progresiva de este nutriente en el tejido a lo largo del ciclo vegetativo y Hossner y Doll (1970) afirman que la suficiencia está asegurada si el nutriente se acumula a lo largo de la estación.

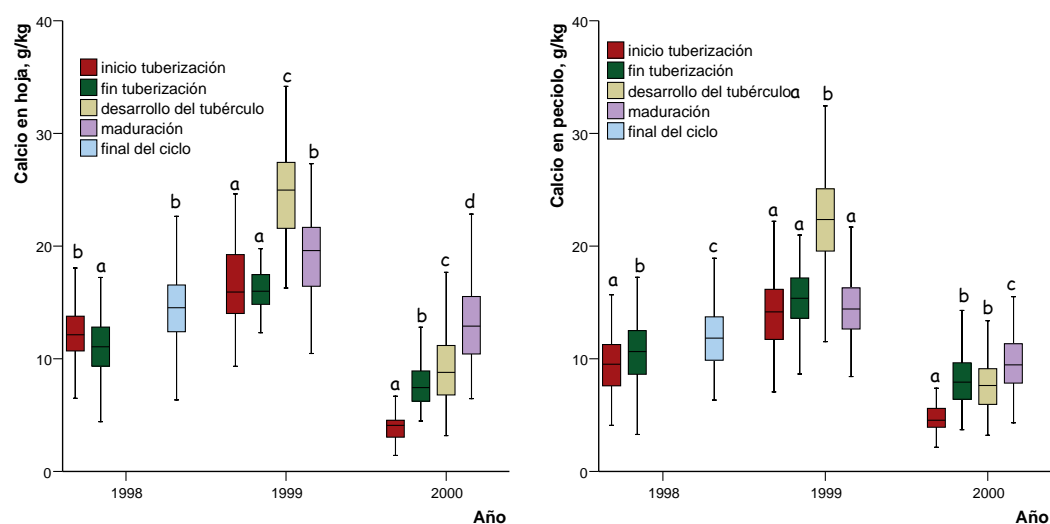


Figura 5.110. Concentración de calcio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades

En general, las concentraciones de calcio en hoja y peciolo disminuyen al aumentar la fertilización NPK. Este hecho puede atribuirse a un efecto de dilución asociado al mayor desarrollo vegetativo en las parcelas más fertilizadas.

Las concentraciones de Ca en hoja y peciolo presentan una correlación altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,832$) entre sí.

Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.137. Como en el ensayo de fertilización mixta, estas correlaciones revelan sinergias y antagonismos entre elementos nutritivos. Al contrario que en el ensayo de fertilización mixta y de acuerdo con Harrison *et al.* (1992), la correlación es negativa con el potasio de cambio en el suelo, poniendo de manifiesto o bien un antagonismo entre Ca y K o bien un efecto de dilución del calcio en los tejidos de las plantas que crecen en suelos más ricos en potasio.

Tabla 5.137.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de calcio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Calcio en hoja	Calcio en peciolo
pH en agua	0,124**	0,074*
Nitrógeno total en suelo	0,419**	0,314**
Potasio de cambio en suelo	-0,242**	-0,170**
% Nitrógeno en hoja	-0,263**	-0,137*
% Nitrógeno en peciolo	-0,158**	-0,140*
Fósforo en hoja	-0,125**	-0,105**
Fósforo en peciolo	-0,216**	-0,164**
Magnesio en hoja	0,447**	0,274**
Magnesio en peciolo	0,455**	0,414**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Magnesio en hoja y peciolo

Las concentraciones de magnesio en hoja obtenidas en este ensayo (Tabla 5.138) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. En general los valores se encuentran dentro o ligeramente por debajo del rango normal 0,5-0,8% citado por Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank en 1998, presentando valores superiores a este rango en 1999 y 2000. En los tres años los valores están por encima del rango de 0,3-0,4%, citado como normal por van der Zaag (1987).

Las concentraciones de Mg en peciolo en el año 1998 son inferiores a los considerados críticos (0,8-1%) por Sanz *et al.* (1982) y a los normales (0,5 a 1,5 %), a media estación para Westermann (1990) para la variedad Russet Burbank, pero comparables a los citados por Walworth y Muniz (1993) como normales (0,11-0,49%) para las variedades

Russet Burbank y Kufri. En los años 1999 y 2000 las concentraciones (Tabla 5.139) se encuentran mayoritariamente dentro del intervalo de Westermann (1990).

Tabla 5.138.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades

Tratamiento	Magnesio (g kg^{-1}) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	4,9	4,8	5,6	8,7	8,2	9,6	13,5	4,7	8,2	13,0	15,7
N1P1K1	4,6	5,1	5,2	9,6	11,0	12,9	18,0	5,2	9,0	11,6	11,5
N1P1K2	4,5	4,7	4,6	8,7	7,6	9,4	12,0	5,1	8,0	13,4	13,4
N1P1K3	4,2	4,0	4,3	8,8	6,5	8,1	6,6	3,8	5,7	9,0	9,6
N1P2K1	5,6	5,4	5,2	10,0	9,4	11,8	14,7	4,3	8,0	7,9	12,3
N1P2K2	4,9	4,8	4,6	9,2	8,0	10,0	14,0	4,9	6,8	10,0	10,2
N1P2K3	4,7	4,4	6,0	10,5	9,1	11,6	11,2	3,4	5,9	7,9	10,2
N2P1K1	4,5	5,4	6,3	12,2	10,1	12,2	20,3	5,4	8,6	12,0	18,0
N2P1K2	3,8	4,8	4,6	8,0	8,6	10,7	15,8	5,3	8,6	11,1	14,2
N2P1K3	4,4	4,3	5,3	7,2	6,3	7,3	9,6	3,8	6,5	7,1	10,5
N2P2K1	5,0	4,9	5,4	7,9	8,8	11,2	14,9	5,3	10,0	14,6	17,0
N2P2K2	4,3	5,0	6,3	7,3	12,3	14,3	17,9	6,2	7,7	9,6	11,7
N2P2K3	4,7	4,6	5,3	9,7	7,6	9,3	14,6	4,3	7,0	8,6	13,2
N3P1K1	4,5	5,1	6,5	11,0	10,1	12,1	19,6	6,4	10,0	12,4	15,8
N3P1K2	4,4	4,7	6,4	10,1	9,4	11,8	15,5	5,9	11,8	11,6	14,4
N3P1K3	4,5	4,1	6,3	9,3	6,4	8,2	11,4	4,1	6,5	8,7	10,1
N3P2K1	5,0	4,7	6,3	13,6	9,1	11,2	18,7	5,2	10,8	12,6	16,2
N3P2K2	4,3	4,7	7,0	10,3	10,2	13,0	15,4	4,9	7,9	9,7	8,9
N3P2K3	4,8	4,3	5,4	9,9	7,3	9,2	13,4	4,7	7,1	9,7	13,8

Tabla 5.139.- Concentraciones medias de magnesio (g kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio (ddp = días después de la plantación) en las dos variedades

Tratamiento	Magnesio (g kg^{-1}) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	2,5	6,9	7,7	9,1	7,9	7,9	15,9	3,9	5,9	8,7	14,2
N1P1K1	2,8	6,0	5,7	12,0	12,2	12,5	22,2	4,7	6,2	7,8	14,2
N1P1K2	2,7	5,9	4,3	7,3	7,8	8,8	12,2	3,8	6,0	7,2	10,7
N1P1K3	2,5	5,8	6,9	6,4	5,6	6,6	9,0	3,5	5,5	5,5	5,0
N1P2K1	2,9	7,0	5,7	12,4	12,1	11,9	15,8	4,4	8,3	8,9	12,1
N1P2K2	2,6	5,6	4,9	6,5	8,9	9,2	14,4	4,3	4,5	8,5	9,6
N1P2K3	2,5	5,3	7,1	7,4	8,0	8,7	9,4	3,2	4,9	4,9	10,4
N2P1K1	3,1	6,6	5,4	16,5	17,7	16,3	18,1	5,7	8,9	8,9	11,6
N2P1K2	2,5	5,6	4,0	10,7	9,3	9,5	17,1	4,3	7,0	8,7	12,1
N2P1K3	2,6	5,0	5,9	5,4	5,4	6,0	6,5	2,9	5,7	5,7	7,6
N2P2K1	3,8	5,8	5,2	8,5	9,1	10,4	12,9	5,6	8,5	11,2	10,6
N2P2K2	2,7	5,4	7,5	7,4	14,1	14,4	18,8	2,9	6,0	5,5	6,3
N2P2K3	3,1	5,1	5,9	7,5	6,0	7,2	9,8	3,2	4,9	5,6	8,7
N3P1K1	2,7	6,0	8,8	12,3	13,1	13,1	14,4	5,5	7,4	7,4	13,3
N3P1K2	2,6	6,1	7,7	8,5	10,9	10,8	13,3	4,9	5,8	9,7	11,9
N3P1K3	2,7	4,8	5,1	6,8	4,6	5,4	10,4	3,2	5,8	7,1	6,9
N3P2K1	2,9	6,8	6,2	11,7	9,7	10,3	16,6	4,5	9,0	9,1	13,8
N3P2K2	2,3	5,7	8,4	8,8	10,6	11,2	17,5	4,3	6,8	6,2	10,5
N3P2K3	2,8	4,6	6,4	8,3	6,2	6,9	12,9	3,9	7,0	6,1	8,5

Las concentraciones de magnesio en hoja están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la variedad, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica, observándose diversas interacciones entre estos factores. Las concentraciones de magnesio en peciolo están influenciadas por los mismos factores excepto la variedad.

La concentración de magnesio en hoja y peciolo varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 2000 > 1998 (Figura 5.111).

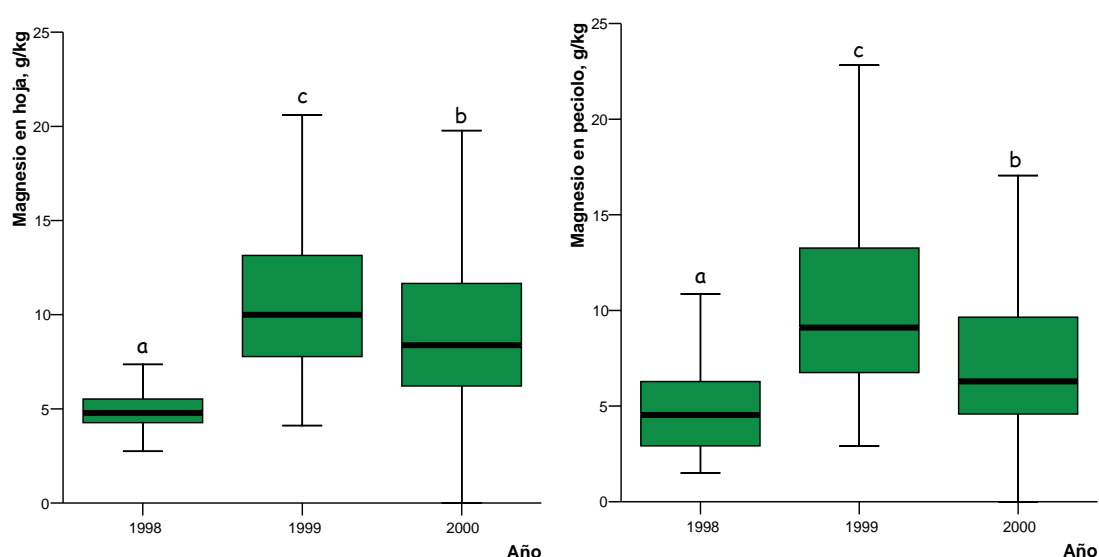


Figura 5.111. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años de estudio en las dos variedades

Las concentraciones de magnesio en hoja son significativamente ($p < 0,05$) mayores en la variedad Kennebec que en la variedad Agria, mientras la variedad no ejerce una influencia significativa sobre la concentración de magnesio en peciolo.

A lo largo del ciclo, las concentraciones de magnesio en hoja no experimentan variaciones significativas en el año 1998, pero sí en los años 1999 y 2000 (Figura 5.112). En cuanto a las concentraciones de magnesio en peciolo se presentan diferencias significativas en los tres años, observándose un incremento a lo largo del ciclo. Lema (1996), en cultivo de patata en Bergantiños, observa un incremento de la concentración de magnesio en peciolo, pero no en hoja, a lo largo del ciclo vegetativo. Hossner y Doll (1970; citados por Lema, 1996) afirman que un ascenso a lo largo del ciclo vegetativo asegura la suficiencia del magnesio.

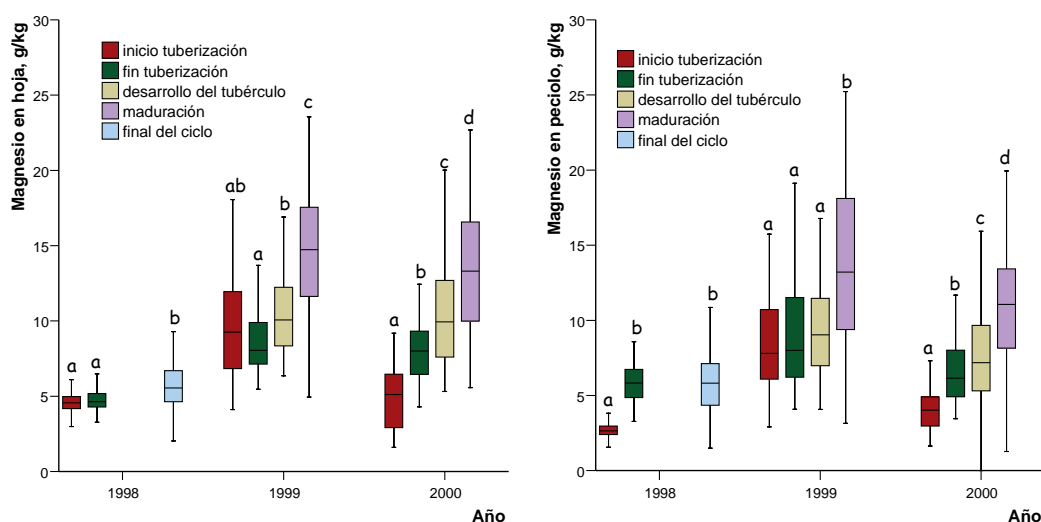


Figura 5.112. Concentración de magnesio en hoja y peciolo, g kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de magnesio en hoja están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente por la fecha y la fertilización potásica en los tres años de estudio, y por la fertilización nitrogenada y fosfatada en el año 2000, habiendo interacción fertilización fosfatada x fertilización potásica en los años 1999 y 2000. Las concentraciones de magnesio en peciolo están influenciadas ($p < 0,05$) significativamente por la fecha y la fertilización potásica en los tres años de estudio, y por la fertilización nitrogenada y fosfatada en los años 1998 y 2000.

Tabla 5.140.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de magnesio en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Magnesio en hoja	Magnesio en peciolo
Fósforo Mehlich 3	-0,334**	-0,300**
Nitrato	-0,133**	-0,200**
Potasio de cambio en suelo	-0,408**	-0,357**
Calcio de cambio en suelo	-0,343**	-0,372**
Relación K/Mg suelo	0,451**	0,536**
% Nitrógeno en hoja	-0,426**	-0,361**
% Nitrógeno en peciolo	-0,180**	
Fósforo en hoja	-0,303**	-0,310**
Fósforo en peciolo	-0,360**	-0,313**
Potasio en hoja	-0,133**	-0,356**
Potasio en peciolo	-0,201**	-0,200**
Calcio en hoja	0,447*	0,455**
Calcio en peciolo	0,274**	0,414**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

Las concentraciones de Mg en hoja y peciolo presentan entre sí una correlación altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,713$). Se observan también correlaciones significativas con distintos parámetros del suelo y la vegetación (Tabla 5.140). Sorprendentemente no se observa correlación significativa del magnesio en hoja y peciolo con el magnesio de cambio en el suelo. El resto de las correlaciones son similares a las observadas en el ensayo de fertilización mixta. Cabe destacar el antagonismo entre Mg y K.

Micronutrientes en hoja y peciolo

Cobre en hoja y peciolo

Como en el ensayo de fertilización mixta, sólo se muestran los resultados de una fecha en 1998 (06/07/98) y ninguna fecha del año 2000 (Tabla 5.141). Se muestran también las tres primeras fechas del año 1999.

Tabla 5.141.- Concentraciones medias de cobre (mg kg^{-1}) en hojas y peciolos para los años 1998 y 1999 (ddp = días después de la plantación) para las dos variedades

Tratamiento	Cobre (mg kg^{-1}) a lo largo del ciclo del cultivo							
	Hoja				Peciolo			
	1998		1999		1998		1999	
	47 ddp 06/07	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	47 ddp 06/07	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07
CONTROL	20,1	20,4	14,2	17,1	15,7	21,9	21,4	21,1
N1P1K1	23,2	21,0	14,6	16,6	14,2	19,1	16,7	16,7
N1P1K2	21,6	17,5	11,2	12,6	15,0	20,5	18,0	18,4
N1P1K3	19,7	25,7	15,6	19,5	15,0	19,3	17,9	18,4
N1P2K1	20,0	24,5	16,1	16,2	14,0	19,8	17,2	18,4
N1P2K2	20,0	18,6	11,8	13,2	13,8	18,8	17,0	16,7
N1P2K3	29,7	25,8	16,7	19,5	17,0	21,1	18,3	18,0
N2P1K1	18,8	26,1	18,1	19,8	24,3	23,6	21,2	21,9
N2P1K2	23,5	26,2	18,1	21,6	13,7	22,1	18,9	20,1
N2P1K3	20,9	23,4	15,2	17,8	15,8	19,5	17,2	16,8
N2P2K1	24,9	26,5	17,3	21,2	16,0	24,6	21,4	21,6
N2P2K2	17,0	28,1	18,6	22,4	17,1	24,0	20,4	20,2
N2P2K3	16,9	26,2	17,1	19,6	16,2	21,0	19,4	20,2
N3P1K1	26,8	21,8	15,0	18,0	16,7	18,2	15,7	16,7
N3P1K2	16,8	23,7	16,6	19,2	14,3	18,0	16,7	16,4
N3P1K3	21,7	20,3	12,5	14,7	15,2	21,7	19,6	19,3
N3P2K1	16,7	21,4	14,7	17,5	16,3	18,2	16,2	16,3
N3P2K2	17,9	22,7	14,3	17,6	22,0	19,7	17,1	16,8
N3P2K3	16,1	23,8	15,5	18,3	11,8	20,4	18,2	17,9

Las concentraciones de cobre en hoja y peciolo obtenidas en este ensayo (Tabla 5.141) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Las concentraciones de cobre varían entre 11,2 y 29,7 mg kg^{-1} en hoja y entre 11,8 y 24,6 mg kg^{-1} en peciolo. Estas concentraciones están dentro del intervalo (5 a 30 ppm) propuesto como normal en hoja y peciolo por Walworth y Muniz (1993) para diversas variedades de

patata; son relativamente elevadas en comparación con las concentraciones de 7-15 ppm considerados como suficientes en hoja por Bergmann y Bergmann (1985). De acuerdo con el valor de 20 ppm citado por Jones (1972) como límite de toxicidad, ésta se presentaría en algunos tratamientos, y podría ser atribuida a los tratamientos fitosanitarios empleados y a la existencia de un pH ácido que favorece su solubilidad.

Las concentraciones de cobre en hoja y peciolo están afectadas significativamente por el año de ensayo y la fecha, sin que la fertilización ejerza efectos principales sobre este parámetro.

En el inicio de la tuberización las concentraciones de cobre en hoja y peciolo son mayores en 1999 que en 1998 (Figura 5.112).

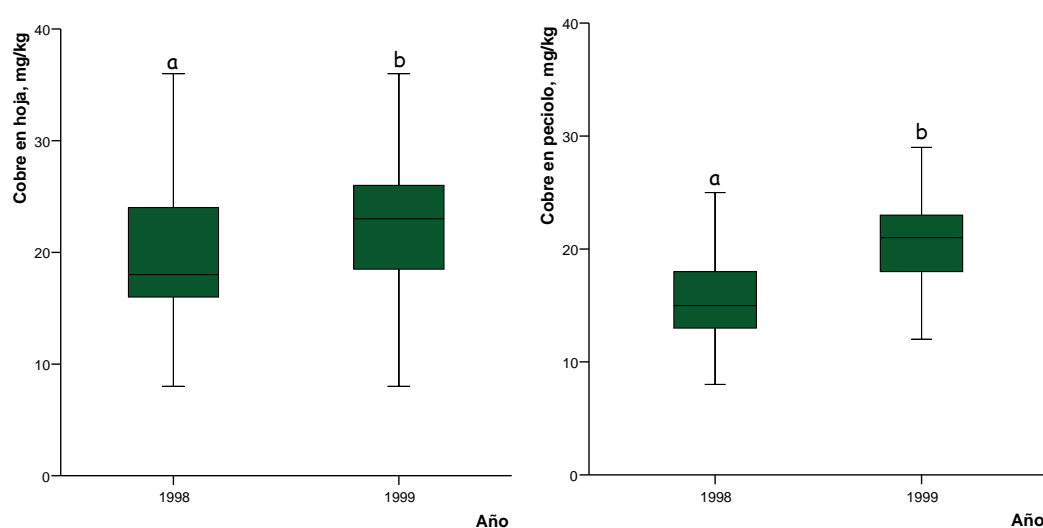


Figura 5.113. Concentración de cobre en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los dos años de estudio para las dos variedades

En 1999 las concentraciones de cobre en hoja y peciolo disminuyen desde el inicio de la tuberización.

Las concentraciones de Cu en hoja y peciolo presentan una correlación altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,191$) entre sí. Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de cobre en hoja y peciolo con las concentraciones de manganeso y cinc (Tabla 5.142).

Tabla 5.142.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cobre en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Cobre en hoja	Cobre en peciolo
Manganeso en hoja	0,248**	
Manganeso en peciolo	0,384**	
Cinc en peciolo		-0,342**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Cinc en hoja y peciolo

Las concentraciones de cinc en hoja y peciolo obtenidas en este ensayo (Tabla 5.143 y 5.144) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Las concentraciones de cinc varían entre 2 y 135 mg kg⁻¹ en hoja y entre 2 y 233 mg kg⁻¹ en peciolo.

Tabla 5.143.- Concentraciones medias de cinc (mg kg⁻¹) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Cinc (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	80	82	< l.d.d	86	77	64	80	16	2	33	46
N1P1K1	88	77	< l.d.d	83	77	66	79	21	8	37	37
N1P1K2	85	80	< l.d.d	91	70	60	91	21	7	44	48
N1P1K3	90	88	< l.d.d	117	79	61	92	26	4	36	36
N1P2K1	88	82	< l.d.d	87	65	63	74	21	9	28	49
N1P2K2	135	77	< l.d.d	89	75	69	77	31	16	45	47
N1P2K3	97	82	< l.d.d	92	73	63	77	26	3	38	46
N2P1K1	86	81	< l.d.d	99	78	65	75	24	10	37	46
N2P1K2	94	85	< l.d.d	90	70	59	71	25	8	42	45
N2P1K3	87	90	< l.d.d	102	75	65	71	25	9	48	33
N2P2K1	88	81	< l.d.d	84	72	59	82	18	5	37	54
N2P2K2	89	85	< l.d.d	98	77	65	67	29	11	43	30
N2P2K3	98	78	< l.d.d	91	73	66	76	26	4	43	54
N3P1K1	90	72	< l.d.d	100	74	62	71	20	6	34	43
N3P1K2	82	83	< l.d.d	83	72	62	74	18	6	40	45
N3P1K3	93	83	< l.d.d	105	75	67	71	26	6	35	50
N3P2K1	89	78	< l.d.d	90	73	58	71	17	13	32	49
N3P2K2	88	83	< l.d.d	96	73	64	80	23	10	36	55
N3P2K3	86	82	< l.d.d	94	75	62	79	25	4	38	44

Estas concentraciones están en general dentro del intervalo (10 a 315 mg kg⁻¹) obtenido por Gupta *et al.* (1995) para la variedad Russet Burbank y son relativamente elevadas en comparación con los valores de 20 a 70 mg kg⁻¹ considerados como adecuados por Walworth y Muniz (1993) para hoja y peciolo para la variedad Russet Burbank; con el intervalo 20-80 ppm obtenidos por Bergmann y Bergmann (1985); y con 40-60 ppm por Locascio y Rhue (1990). Sin embargo estas concentraciones no se pueden considerar tóxicas de acuerdo con Trehan y Grewal (1984), que consideran como tales concentraciones las que excedan de 450 mg kg⁻¹, valor que no se alcanza en ninguna de las parcelas del presente estudio.

Tabla 5.144.- Concentraciones medias de cinc (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Cinc (g kg^{-1}) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	121	47	< l.d.d	118	78	84	91	10	2	16	22
N1P1K1	125	52	< l.d.d	88	97	85	79	16	28	27	33
N1P1K2	94	52	< l.d.d	109	98	84	82	19	17	32	33
N1P1K3	94	56	< l.d.d	106	105	80	81	24	28	42	54
N1P2K1	156	47	< l.d.d	91	80	63	87	13	15	42	39
N1P2K2	212	46	< l.d.d	108	101	89	101	37	53	41	50
N1P2K3	100	50	< l.d.d	102	94	70	83	18	19	42	48
N2P1K1	94	54	< l.d.d	94	98	74	90	24	13	30	28
N2P1K2	101	52	< l.d.d	92	82	81	84	23	23	36	37
N2P1K3	162	53	< l.d.d	100	94	71	85	25	30	37	51
N2P2K1	108	53	< l.d.d	85	86	60	85	14	11	37	22
N2P2K2	149	56	< l.d.d	99	105	81	85	31	33	39	39
N2P2K3	119	59	< l.d.d	91	79	67	85	20	13	39	33
N3P1K1	112	53	< l.d.d	93	96	75	92	19	15	28	33
N3P1K2	233	57	< l.d.d	92	81	71	78	20	23	54	36
N3P1K3	158	55	< l.d.d	107	98	79	88	26	28	26	57
N3P2K1	183	61	< l.d.d	81	81	71	69	12	16	37	37
N3P2K2	141	51	< l.d.d	101	96	73	100	32	35	38	52
N3P2K3	128	59	< l.d.d	98	86	65	78	19	19	39	43

Las concentraciones de cinc en hoja están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica. Las concentraciones de cinc en peciolo están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la variedad y la fertilización potásica. En ambos casos se observan, diversas interacciones entre los factores que ejercen efectos principales.

Las concentraciones de cinc en hoja y peciolo presentan valores máximos en 1998 y mínimos en 2000 (Figura 5.114).

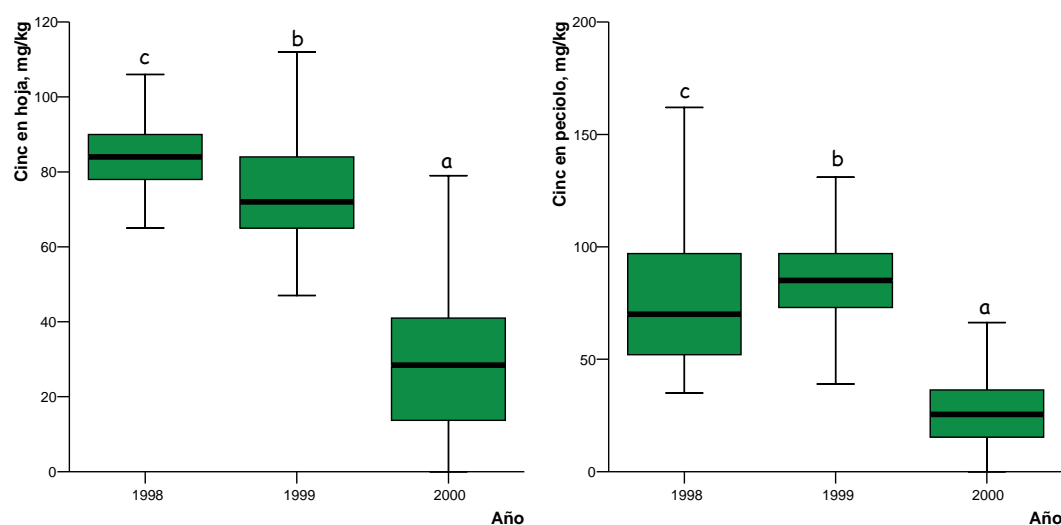


Figura 5.114. Concentración de cinc en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años de estudio para las dos variedades

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de cinc en hoja están influenciadas significativamente ($p<0,05$) por la fecha de muestreo en los tres años de estudio, por la variedad en 1999 y por la fertilización potásica en los años 1999 y 2000, habiendo interacciones fecha x variedad. Las concentraciones de cinc en peciolo están influenciadas significativamente ($p<0,05$) por la fecha en los tres años de estudio, por la variedad en 1999 y 2000 y por la fertilización potásica en los años 1999 y 2000.

Las concentraciones de cinc en hoja y peciolo descienden entre el inicio y el fin de la tuberización, aumentando de nuevo al final del ciclo en los tres años de ensayo (Figura 5.115).

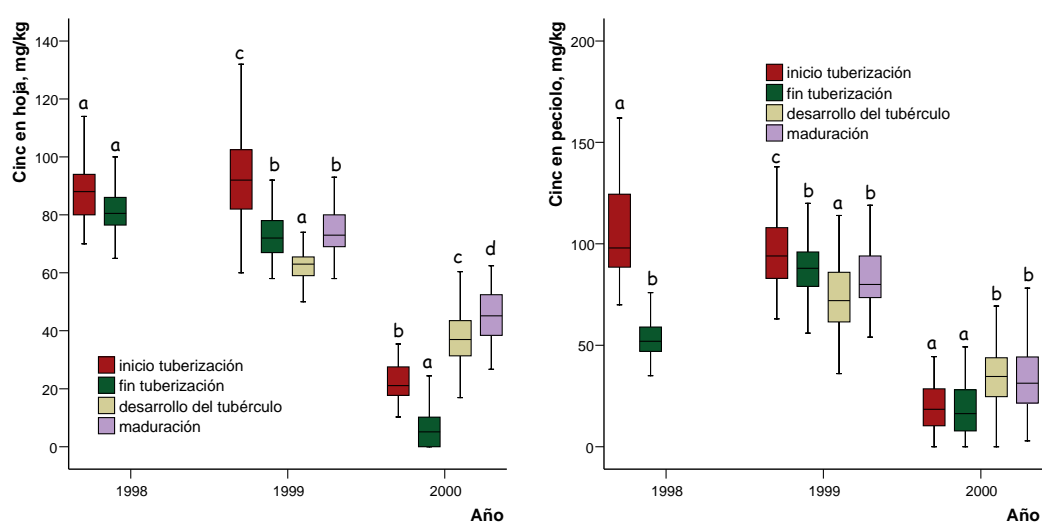


Figura 5.115. Concentración de cinc en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades

Las concentraciones de cinc en 2000 son significativamente mayores para las dosis más altas de fertilización potásica (300 y $450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$). Curiosamente, en 1999 las mayores concentraciones de cinc se presentan en las parcelas control.

Las concentraciones de Zn en hoja y peciolo se correlacionan significativamente ($p<0,01$; $r=0,576$) entre sí.

Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.145.

Tabla 5.145.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de cinc en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Cinc en hoja	Cinc en peciolo
Fósforo Mehlich 3	0,501**	0,373**
Nitrógeno total en suelo	0,593**	0,328**
Calcio de cambio en suelo	0,190**	0,204**
Nitrógeno en hoja	0,475**	
Fósforo en hoja	0,217**	0,163**
Fósforo en peciolo	0,166**	0,223**
Potasio en peciolo	0,170**	0,294**
Calcio en hoja	0,432**	0,298**
Calcio en peciolo	0,342**	0,251**
Hierro en hoja	-0,300**	-0,222**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Hierro en hoja y peciolo

Las concentraciones de hierro en hoja y peciolo obtenidas en este ensayo (Tabla 5.146 y 5.147) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Las concentraciones de hierro en hoja oscilan entre los 246 y 1057 mg kg⁻¹ de materia seca para la variedad Agria y entre 224 y 1103 mg kg⁻¹ para la variedad Kennebec (Tabla 5.146).

Tabla 5.146.- Concentraciones medias de hierro (mg kg⁻¹) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Hierro (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Agria											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	326	309	483	593	411	451	318	493	1020	772	782
N1P1K1	372	259	474	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	277	252	409	743	345	419	510	541	895	616	625
N1P1K3	324	331	375	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	266	249	407	1057	341	468	285	496	949	417	648
N1P2K2	340	259	305	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	415	296	384	711	372	393	285	496	760	382	817
N2P1K1	314	295	483	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	278	258	469	882	269	463	334	564	964	480	740
N2P1K3	324	277	409	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	311	278	442	957	281	439	355	465	641	551	488
N2P2K2	289	253	408	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	386	260	344	987	292	456	263	425	710	392	642
N3P1K1	307	263	509	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	306	247	623	974	320	420	272	582	748	643	778
N3P1K3	269	263	388	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	337	251	486	1044	306	423	425	386	885	396	431
N3P2K2	288	246	550	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	285	267	461	892	301	364	353	560	684	316	699

Hierro (g kg ⁻¹) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo, Kennebec											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	324	307	467	823	352	420	435	484	1008	714	1093
N1P1K1	324	233	336	786	320	450	401	380	803	454	827
N1P1K2	289	249	311	714	323	454	307	559	876	675	496
N1P1K3	242	256	494	806	295	413	401	479	673	423	624
N1P2K1	311	259	396	684	285	432	415	621	979	570	1052
N1P2K2	276	224	321	936	343	464	291	447	890	579	771
N1P2K3	351	261	401	862	318	450	374	389	939	543	723
N2P1K1	301	243	414	732	285	407	440	372	1523	460	915
N2P1K2	293	258	440	837	308	453	365	625	1032	702	914
N2P1K3	295	277	327	910	360	372	320	317	729	332	814
N2P2K1	323	235	370	1043	296	379	345	395	908	378	985
N2P2K2	286	243	387	917	488	465	274	338	869	583	811
N2P2K3	460	226	462	761	553	365	305	472	1075	578	851
N3P1K1	351	225	438	907	440	481	438	307	577	368	766
N3P1K2	272	242	398	879	277	546	303	552	1025	501	561
N3P1K3	303	237	398	845	267	422	408	391	652	402	531
N3P2K1	385	270	412	1044	265	455	297	398	995	462	826
N3P2K2	274	239	433	1103	299	409	652	395	814	368	559
N3P2K3	275	239	379	711	323	435	327	400	904	585	888

Tabla 5.147.- Concentraciones medias de hierro (mg kg⁻¹) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Hierro (g kg ⁻¹) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo, Agria											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	266	203	291	282	332	527	342	285	647	443	564
N1P1K1	268	180	286	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	236	200	262	257	307	448	240	362	637	245	318
N1P1K3	276	206	286	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	265	168	276	367	280	366	287	293	470	263	362
N1P2K2	257	169	243	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	245	157	250	325	321	303	337	247	431	261	308
N2P1K1	211	193	339	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	297	209	278	397	318	430	295	302	685	260	341
N2P1K3	261	200	233	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	275	173	237	455	360	392	260	225	496	320	333
N2P2K2	261	241	289	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	352	205	262	297	305	297	465	342	315	205	287
N3P1K1	226	138	337	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	243	186	326	474	323	376	207	320	710	289	310
N3P1K3	194	221	234	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	274	220	304	594	331	393	289	285	614	277	298
N3P2K2	342	192	278	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	291	188	265	584	323	298	190	310	436	219	281

Hierro (g kg ⁻¹) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo, Kennebec											
Tratamiento	1998			1999				2000			
	47 ddp	61 ddp	121 ddp	44 ddp	62 ddp	76 ddp	94 ddp	43 ddp	57 ddp	71 ddp	84 ddp
	06/07	20/07	08/09	24/06	12/07	26/07	13/08	30/06	14/07	28/07	10/08
CONTROL	243	242	267	286	400	368	235	271	506	334	439
N1P1K1	224	161	262	350	355	368	282	158	429	221	332
N1P1K2	215	203	258	418	364	354	265	267	467	285	323
N1P1K3	195	199	262	262	354	400	223	264	325	162	349
N1P2K1	220	138	293	317	300	340	403	239	499	276	453
N1P2K2	269	179	279	431	345	409	349	284	483	211	356
N1P2K3	212	158	267	351	350	391	367	287	326	267	424
N2P1K1	203	255	248	399	305	426	336	187	450	226	434
N2P1K2	230	187	301	347	339	387	346	285	557	319	401
N2P1K3	221	153	261	389	302	264	208	215	346	178	328
N2P2K1	243	165	265	434	364	400	375	270	374	284	251
N2P2K2	233	158	295	480	365	382	382	236	471	223	323
N2P2K3	241	172	301	349	488	290	261	189	346	202	353
N3P1K1	279	167	270	418	366	417	478	210	337	293	287
N3P1K2	246	183	260	448	342	392	217	416	614	378	317
N3P1K3	238	137	311	365	300	366	232	121	432	224	384
N3P2K1	221	159	284	436	308	386	197	157	501	257	374
N3P2K2	239	165	267	525	339	371	368	228	466	227	310
N3P2K3	226	167	258	441	419	326	280	192	498	231	478

Las concentraciones de hierro en peciolo oscilan entre 138 y 710 mg kg⁻¹ de materia seca para la variedad Agria y entre 121 y 614 mg kg⁻¹ (Tabla 5.147). Estas concentraciones son mayores que las obtenidas por investigadores como Gupta *et al.* (1995), que obtiene un rango comprendido entre 72 y 364 mg kg⁻¹ (para la variedad Russet Burbank) y que los propuestos como normales de 75-150 mg kg⁻¹ por Westermann (1990). Sin embargo, las concentraciones de hierro en este ensayo, aunque muy elevados, no podrían considerarse tóxicas en 1998 pero sí en 1999 y 2000, año en que se superan los 500 mg kg⁻¹, valor por encima del cual existen riesgos de toxicidad según Kabata-Pendias y Pendias (2001) y Walworth y Muniz (1993). Sin embargo, como se verá en el capítulo correspondiente, es en el año 2000 cuando se obtiene el mayor rendimiento de tubérculo.

Las concentraciones de hierro en hoja están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la variedad, habiendo interacciones año x fecha, año x variedad y fecha x variedad. Las concentraciones de hierro en peciolo están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo, la variedad y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha.

La concentración de hierro en hoja es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 2000 que en 1999 y en este año mayor que 1998. En peciolo, las concentraciones en 1999 y 2000 son significativamente mayores que en 1998 (Figura 5.116). Las menores concentraciones en el año 1998 se relacionan con los mayores valores de pH del suelo.

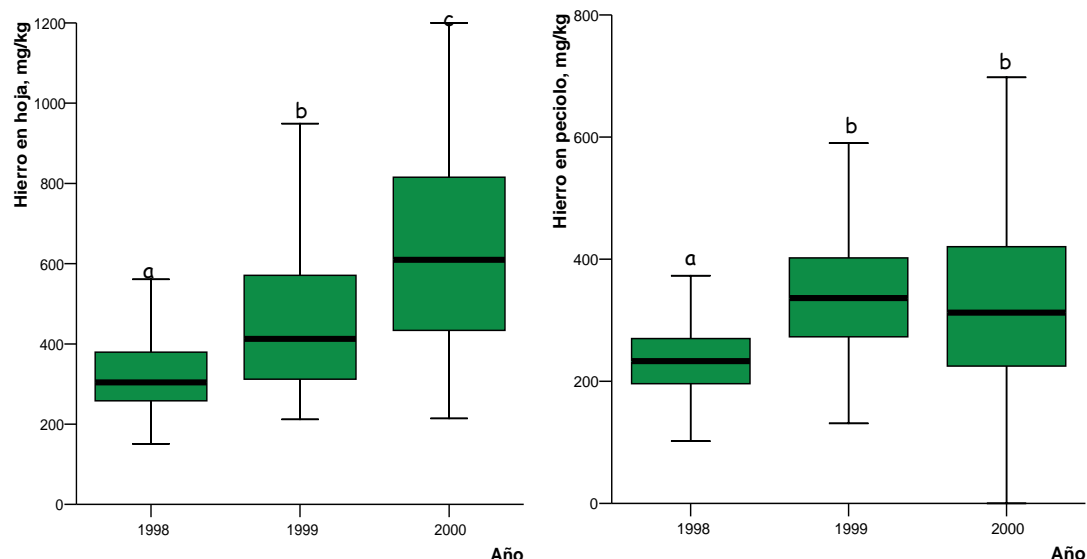


Figura 5.116. Concentración de hierro en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años de estudio para las dos variedades

Analizando separadamente cada año de ensayo, se observa que las concentraciones de hierro en hoja están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha en los tres años de estudio.

En cuanto a las concentraciones de hierro en peciolo, están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha en los tres años de estudio, por la variedad en 1998 y 2000 y por la fertilización potásica en 1999 y 2000.

La variación de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo no muestra una tendencia consistente entre los distintos años (Figura 5.117).

La concentración de hierro en peciolo en 1998 y 2000 es significativamente mayor en la variedad Agria que en la Kennebec.

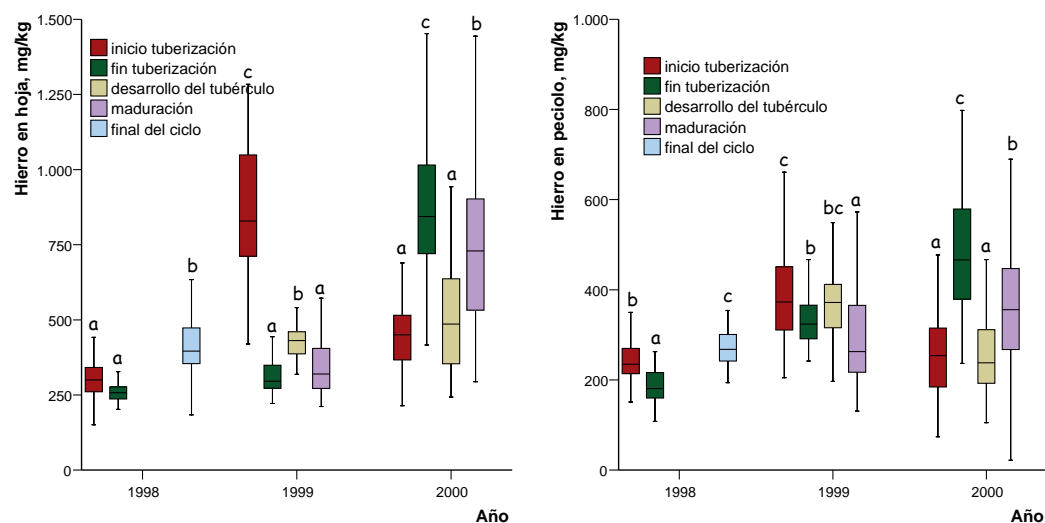


Figura 5.117. Concentración de hierro en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación para las dos variedades

La concentración de hierro en peciolo en 1999 y 2000 es mínima en las parcelas a las que se aplicó la máxima fertilización potásica (450 kg K₂O ha⁻¹), posiblemente debido a un efecto de dilución.

Las concentraciones de Fe en hoja y peciolo se correlacionan de forma altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,477$) entre sí.

Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.148. La correlación negativa con el fósforo (en suelo y en planta) refleja posiblemente la formación de fosfatos de hierro insolubles, que disminuye la disponibilidad del fósforo.

Tabla 5.148.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de hierro en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Hierro en hoja	Hierro en peciolo
pH en KCl	-0,100**	-0,161**
Fósforo Mehlich 3	-0,314**	-0,294**
Potasio de cambio en suelo	-0,162**	-0,232**
Calcio de cambio en suelo	-0,323**	-0,326**
Nitrógeno en hoja	-0,595**	-0,478**
Nitrógeno en peciolo	-0,240**	-0,288**
Fósforo en hoja	-0,324**	-0,219**
Fósforo en peciolo	-0,245**	-0,193**
Manganeso en hoja	0,152**	0,178**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

Manganeso en hoja y peciolo

Las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo obtenidas en este ensayo (Tabla 5.149) son comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Las concentraciones de manganeso en hoja oscilan entre los 190 y 819 mg kg⁻¹ de materia seca (Tabla 5.149). Las concentraciones de manganeso en peciolo oscilan entre 105 y 1079 mgkg⁻¹ (Tabla 5.150). Lema encuentra en Bergantiños concentraciones de manganeso en hoja de patata entre 200 y 400 mg kg⁻¹ y concentraciones de manganeso en peciolo entre menos de 100 y 300 mg kg⁻¹, valores comparables o inferiores a los del presente estudio. Estas concentraciones son también similares a las obtenidas por Gupta *et al.* (1995), que citan un rango de 107 a 1476 mg kg⁻¹ (para la variedad Russet Burbank); pero estas concentraciones son superiores al intervalo 30-50 mg kg⁻¹ considerado como normal por Westermann (1990), y en algunos casos, superiores a los 500 mg kg⁻¹, valor por encima del cual existen riesgos de toxicidad según Kabata-Pendias y Pendias (2001) y Walworth y Muniz (1993).

Por lo tanto, tendríamos concentraciones tóxicas en las hojas en algunos tratamientos en los tres años de estudio. Sin embargo, no se observan síntomas de esta toxicidad.

Tabla 5.149.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en hojas para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Manganeso (g kg^{-1}) en hoja a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	229	204	442	429	463	506	710	396	248	406	512
N1P1K1	236	193	499	431	616	647	773	431	288	475	498
N1P1K2	264	244	425	633	711	649	715	404	325	510	578
N1P1K3	316	262	489	350	431	469	628	350	310	391	422
N1P2K1	267	206	397	394	434	404	597	397	363	496	819
N1P2K2	271	190	453	498	617	598	688	498	339	553	632
N1P2K3	321	253	604	339	458	383	575	314	349	456	713
N2P1K1	268	230	376	494	611	644	621	494	323	444	656
N2P1K2	301	227	336	493	615	622	662	353	324	465	665
N2P1K3	420	338	374	299	358	353	768	299	267	309	354
N2P2K1	269	222	466	491	458	507	680	399	298	501	677
N2P2K2	357	306	335	421	648	626	781	421	277	453	528
N2P2K3	304	292	468	378	408	432	618	339	287	412	619
N3P1K1	282	209	464	517	694	739	727	517	288	399	534
N3P1K2	349	264	501	533	574	572	681	379	286	448	624
N3P1K3	333	279	547	295	398	361	733	295	319	410	576
N3P2K1	304	230	440	450	581	588	707	394	295	460	658
N3P2K2	344	270	371	415	594	547	656	415	298	373	631
N3P2K3	443	310	459	366	453	474	518	367	313	400	628

Tabla 5.150.- Concentraciones medias de manganeso (mg kg^{-1}) en peciolo para las fechas estudiadas de los tres años de estudio para las variedades Agria y Kennebec (ddp = días después de la plantación)

Tratamiento	Manganeso (g kg^{-1}) en peciolo a lo largo del ciclo del cultivo										
	1998			1999				2000			
	47 ddp 06/07	61 ddp 20/07	121 ddp 08/09	44 ddp 24/06	62 ddp 12/07	76 ddp 26/07	94 ddp 13/08	43 ddp 30/06	57 ddp 14/07	71 ddp 28/07	84 ddp 10/08
CONTROL	115	178	362	377	359	449	657	136	159	263	371
N1P1K1	105	108	351	312	476	600	950	136	240	367	386
N1P1K2	127	194	300	445	541	603	682	153	199	301	385
N1P1K3	148	197	344	217	288	390	585	139	165	247	372
N1P2K1	128	133	233	278	313	372	601	183	294	386	634
N1P2K2	129	145	369	437	466	574	891	204	264	296	497
N1P2K3	160	216	430	244	304	339	577	189	220	264	490
N2P1K1	126	150	204	348	580	689	981	183	232	419	387
N2P1K2	138	172	236	377	507	608	628	170	246	340	451
N2P1K3	197	270	280	202	220	326	529	139	143	257	334
N2P2K1	215	196	295	363	391	529	683	182	230	308	384
N2P2K2	161	219	235	335	500	604	771	141	208	237	331
N2P2K3	147	218	347	230	283	446	605	162	150	235	396
N3P1K1	112	149	385	343	584	634	1079	146	162	260	355
N3P1K2	167	228	366	404	450	450	586	158	229	285	438
N3P1K3	150	222	321	204	269	280	503	117	166	192	364
N3P2K1	142	174	257	313	436	537	566	165	232	244	453
N3P2K2	158	197	248	315	518	536	860	148	206	280	392
N3P2K3	209	249	275	234	394	319	525	187	194	276	416

Las concentraciones de manganeso en hoja están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fecha, año x fertilización fosfatada y año x fertilización potásica. Las concentraciones de manganeso en peciolo están afectadas significativamente por el año de ensayo, la fecha de muestreo y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fertilización potásica.

La concentración de manganeso en hoja y peciolo varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 2000 > 1998 (Figura 5.118).

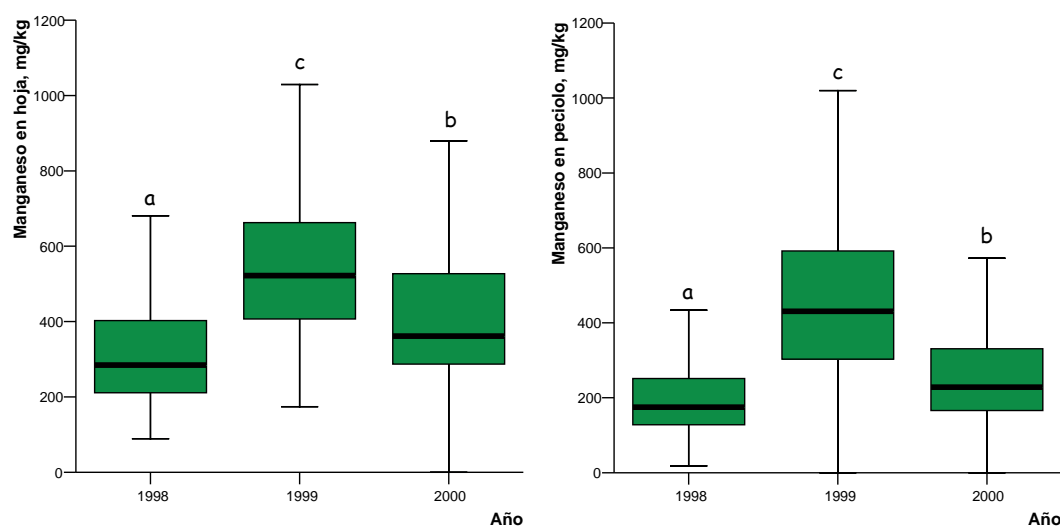


Figura 5.118. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años de estudio para las dos variedades

Analizando separadamente cada año de ensayo se observa que las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo están influenciadas significativamente ($p < 0,05$) por la fecha y la fertilización potásica en los tres años de estudio.

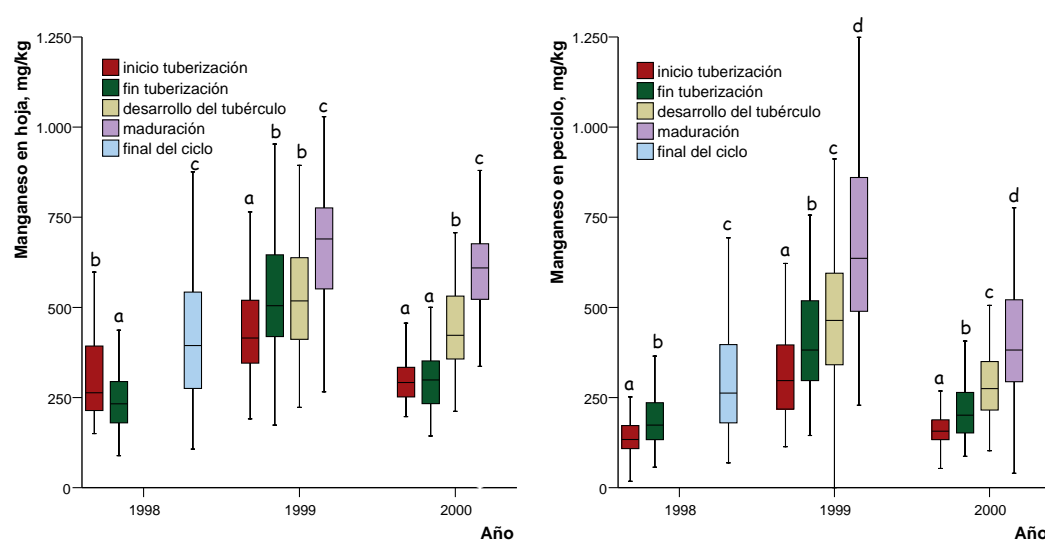


Figura 5.119. Concentración de manganeso en hoja y peciolo, mg kg^{-1} para los tres años en función de los días después de la plantación en las dos variedades

En general, las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo aumentan desde la primera a la última fecha de muestreo (Figura 5.119).

La variación de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con la fertilización potásica no muestra una tendencia consistente en los tres años de ensayo.

Las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo presentan una correlación altamente significativa ($p < 0,01$; $r = 0,828$) entre sí. Asimismo se han encontrado correlaciones significativas de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.151.

Se encuentran correlaciones significativas positivas entre manganeso y hierro en hoja y en peciolo, a pesar del mencionado antagonismo entre estos dos micronutrientes (Lema, 1996; Cinelli *et al.* 2004). Estas correlaciones podrían deberse a que estos dos oligoelementos son aportados conjuntamente al suelo con fertilizantes inorgánicos.

Tabla 5.151.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de las concentraciones de manganeso en hoja y peciolo con distintos parámetros

	Manganeso en hoja	Manganeso en peciolo
pH agua	-0,281**	-0,307**
pH en KCl	-0,358**	-0,419**
Fósforo Mehlich 3	-0,333**	-0,320**
Potasio de cambio en suelo	-0,254**	-0,284**
Calcio de cambio en el suelo	-0,462**	-0,490**
Nitrógeno en hoja	-0,443**	-0,434**
Nitrógeno en peciolo	-0,193**	-0,224**
Fósforo en hoja	-0,193**	-0,229**
Fósforo en peciolo	-0,295**	-0,290**
Calcio en hoja	0,356**	0,457**
Calcio en peciolo	0,282**	0,425**
Magnesio en hoja	0,427**	0,451**
Magnesio en peciolo	0,418**	0,536**
Hierro en hoja	0,152**	0,077*
Hierro en peciolo	0,178**	0,265**
Cinc en peciolo	0,132**	0,138**

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

5.3.3. Tubérculo

Rendimiento total y Rendimiento comercial

El rendimiento en materia fresca de patata en este ensayo varía para los distintos años y tratamientos entre 30,2 y 69,6 t ha⁻¹ para la variedad Agria y entre 28,0 y 59,6 t ha⁻¹ para la variedad Kennebec (Tabla 5.152). Los rendimientos alcanzados son más elevados en el año 2000 y similares en los tres años a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.152.- Rendimientos medios totales y comerciales para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Rendimiento total, t/ha						Rendimiento comercial, t/ha					
	Agria			Kennebec			Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	32,7	40,8	40,1	28,0	41,1	32,4	30,3	37,1	36,1	26,1	36,8	30,4
N1P1K1	50,0	39,4	50,0	35,9	45,6	47,2	48,0	36,1	46,4	35,0	39,7	44,9
N1P1K2	44,3	52,5	57,2	46,1	43,0	49,6	37,3	38,4	52,7	39,2	38,5	42,0
N1P1K3	43,7	37,3	61,7	50,4	52,9	54,5	42,3	32,7	53,0	49,8	41,2	43,3
N1P2K1	55,9	52,1	48,0	45,6	43,0	44,7	53,7	46,2	43,9	44,5	35,4	40,6
N1P2K2	49,3	33,7	58,2	50,4	43,4	48,0	45,7	29,8	54,4	46,1	37,2	42,3
N1P2K3	57,8	54,6	66,0	48,0	49,6	50,8	55,5	41,6	53,2	48,0	39,4	41,0
N2P1K1	52,2	39,0	47,3	44,3	42,7	42,7	44,2	34,2	44,3	37,7	37,7	40,1
N2P1K2	52,8	54,8	55,1	42,6	45,9	57,6	35,7	47,7	53,5	42,0	34,3	50,8
N2P1K3	54,1	44,2	64,0	56,3	59,6	48,1	46,2	39,0	51,7	55,9	48,5	36,7
N2P2K1	48,5	50,2	55,2	46,9	45,5	45,0	45,3	45,0	45,8	45,7	37,2	42,9
N2P2K2	48,5	30,2	59,6	48,7	43,8	57,3	44,3	22,6	53,9	48,6	33,2	51,0
N2P2K3	40,6	52,6	69,6	49,3	49,5	48,9	37,5	44,3	49,2	45,0	41,9	39,5
N3P1K1	50,9	42,6	48,6	48,2	47,0	49,5	44,9	40,2	44,8	42,7	40,3	39,5
N3P1K2	38,0	54,5	64,3	43,9	48,5	58,3	34,7	44,4	53,7	39,6	37,1	49,3
N3P1K3	44,6	41,8	51,6	53,7	49,0	49,9	42,1	36,1	41,0	53,7	38,9	27,8
N3P2K1	50,0	50,3	61,8	51,5	46,7	46,4	48,6	46,0	44,3	44,2	36,2	39,1
N3P2K2	51,5	33,5	52,4	48,7	45,5	54,4	47,1	29,7	48,1	47,7	39,9	43,7
N3P2K3	56,3	53,6	62,5	49,3	54,9	55,3	54,5	47,6	50,6	45,9	42,3	43,3

El rendimiento total está influenciado significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, la variedad y la fertilización potásica. Se observan interacciones significativas del año con la variedad y la fertilización potásica.

En ambas variedades, los mayores valores del rendimiento total se alcanzan en el año 2000. En Agria el rendimiento en 2000 es significativamente ($p < 0,05$) mayor que en 1998 y 1999; en Kennebec el rendimiento en 2000 es significativamente ($p < 0,05$) mayor que en 1998 (Figura 5.120). Estas diferencias pueden atribuirse en parte a las temperaturas en el mes de julio en 1998 y 1999 y en el mes de agosto en 1998, en que se registran elevados valores de la temperatura máxima, que con frecuencia sobrepasa 30°C (Tabla 5.1). En 2000 las temperaturas estivales fueron más moderadas, particularmente en julio; menores

temperaturas máximas propician una mayor producción y desarrollo de los tubérculos (Krauss y Marschner, 1984). La fecha temprana de emergencia en 2000 (Tabla 3.3) puede influir también en el mayor rendimiento.

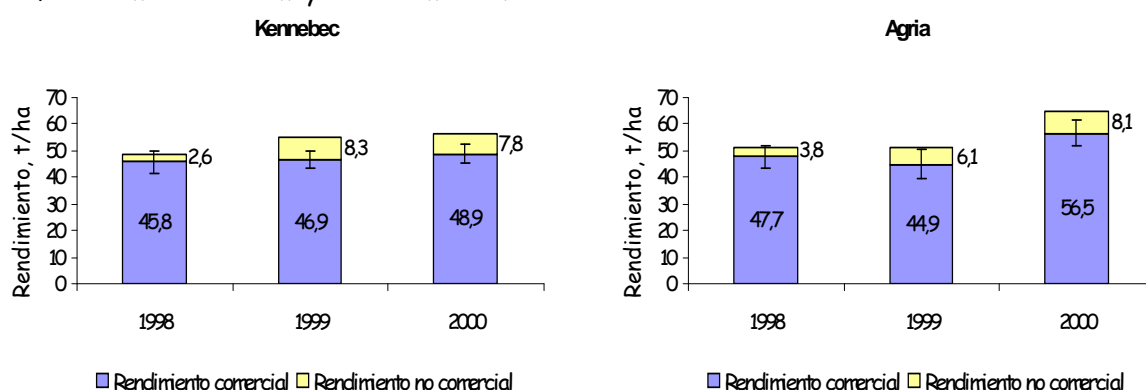
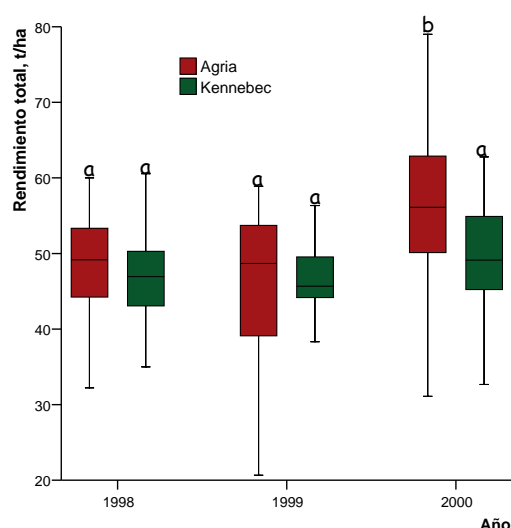


Figura 5.120. Rendimiento medio total y comercial en los tres años de ensayo para las dos variedades



La variedad Agria produce mayores rendimientos que la variedad Kennebec en los tres años de ensayo (Figura 5.121), pero la diferencia entre variedades es significativa ($p < 0,05$) sólo en el año más favorable (2000).

Figura 5.121. Rendimiento total en función del año y la variedad

De acuerdo con las interacciones observadas, cada año de ensayo y variedad se analizará separadamente.

Se observa que en la variedad Kennebec, el rendimiento está influenciado significativamente por la fertilización potásica en los tres años de ensayo. En la variedad Agria el rendimiento está influenciado significativamente por la fertilización potásica en los años 1998 y 2000. En 1999 la fertilización no ejerce efectos significativos sobre el rendimiento de la variedad Agria

Para la variedad Kennebec, el rendimiento aumenta con mayores dosis de fertilización potásica, incluyendo la más alta, en 1998 y 1999. En 2000 el incremento de la dosis de potasio de 300 a 450 kg K_2O ha^{-1} no produce un aumento significativo del rendimiento

(Figura 5.122), Por el contrario, en la variedad Agria el año 2000 es el único en el cual el rendimiento responde positivamente a la fertilización potásica hasta la dosis más alta. Parece que para esta variedad existe una sinergia entre factores climáticos y fertilización, también Chapman *et al.* (1992), Maier *et al.* (1994a) y Allison *et al.* (2001), entre otros, obtienen mayores rendimientos a mayores dosis de fertilización potásica.

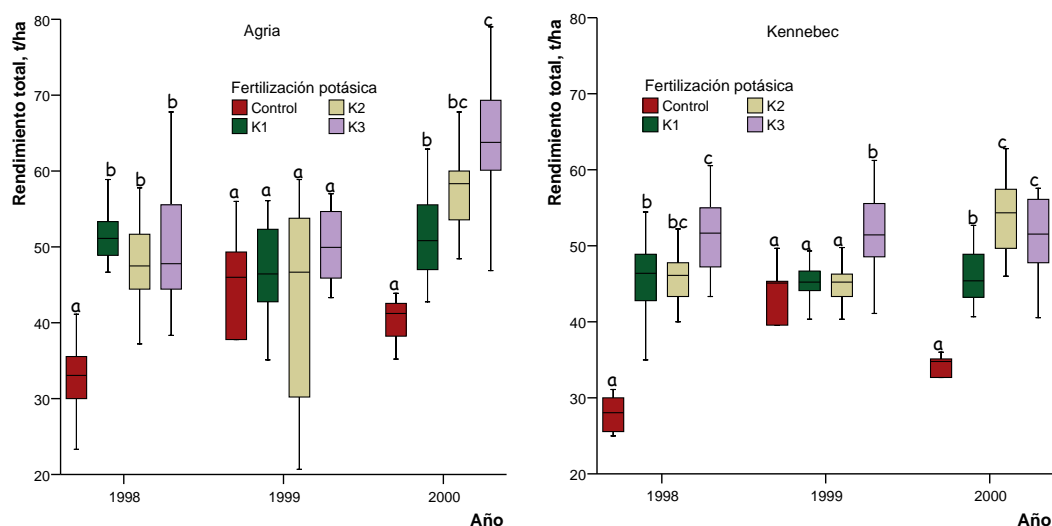


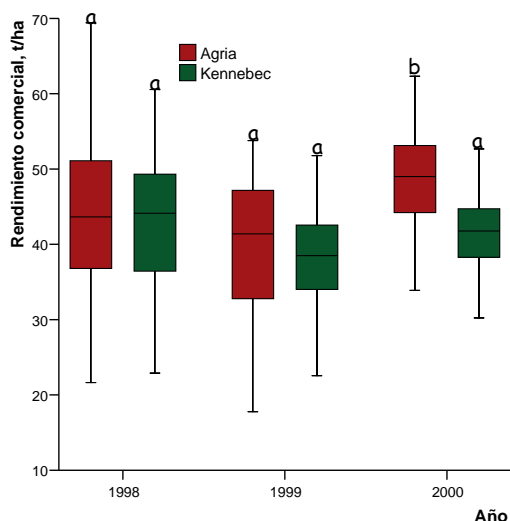
Figura 5.122.- Rendimiento total para las dos variedades en función del año y de la fertilización potásica.

Las fertilizaciones nitrogenada y fosfatada no afectan el rendimiento a las dosis utilizadas en el ensayo. Meyer y Marcum (1998), en California, encontraron aumentos significativos del rendimiento con la fertilización nitrogenada en uno de los años de ensayo, pero no en el otro. En un experimento llevado a cabo en Carolina del Norte, Crozier *et al.*, (2000) encontraron que los rendimientos de tubérculo no fueron incrementados con las dosis de fertilizante nitrogenado, pero sí con las dosis más altas de fertilizante fosfatado y potásico.

El rendimiento comercial (40 a 80 mm) en este ensayo varía entre 22,6 y 55,9 t ha⁻¹ para la variedad Agria y entre 26,1 y 55,9 t ha⁻¹ para la variedad Kennebec (Tabla 5.152).

El rendimiento comercial está influenciado por el año y la variedad, habiendo interacción año x variedad, año x fertilización fosfatada y año x fertilización potásica.

Considerando conjuntamente las dos variedades, el rendimiento comercial es significativamente ($p < 0,05$) menor en 1999 que en 1998 y 2000. En 1998 la mayor parte de la producción es de tamaño comercial, mientras en 1999 y 2000 se produce una elevada proporción de tubérculos grandes (> 80 mm); esta es la causa de que el rendimiento comercial en 1998 no se diferencie significativamente del 2000.



Lo mismo que el rendimiento total, el rendimiento comercial es mayor para la variedad Agria que para la Kennebec (Figura 5.123), siendo significativas las diferencias únicamente en 2000.

Figura 5.123. Rendimiento comercial en función del año y la variedad

De acuerdo con las interacciones observadas, cada año de ensayo y variedad se analizará separadamente.

Los valores de rendimiento comercial en la variedad Agria varían significativamente ($p < 0,05$) en el orden $2000 > 1999 > 1998$. En la variedad Kennebec los mayores rendimientos comerciales se obtienen en el año 1998 (debido a que, como se ha señalado, la mayor parte de la producción es de tamaño comercial) y los menores en el año 1999.

La fertilización ejerce sobre el rendimiento comercial un efecto similar al ejercido sobre el rendimiento total. La diferencia más destacable es que en 2000 (el año de mayor producción) la aplicación de la dosis más elevada de potasio ($450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) produce una disminución del rendimiento comercial, no sólo en la variedad Kennebec sino también en Agria. En esta última variedad, la disminución del rendimiento comercial, al tiempo que el rendimiento total aumenta, deriva del incremento considerable de los tubérculos de tamaño superior a 80 mm.

El rendimiento comercial expresado como porcentaje del rendimiento total es significativamente menor en la variedad Kennebec que en Agria, como resultado de la elevada proporción de tubérculos de gran tamaño de la variedad Kennebec. El menor porcentaje de tubérculos grandes ($> 80 \text{ mm}$) en la variedad Agria la hace más adecuada para la producción de patatas fritas en láminas, porque los tubérculos grandes producen rodajas grandes, que se rompen fácilmente al empaquetar.

El peso medio del tubérculo (se determinó únicamente en 1999 y 2000) es de $163,8 \pm 40,7$ para la variedad Agria y de $188,9 \pm 35,9$ para la variedad Kennebec. El año, la variedad

y la fertilización potásica ejercen efectos principales sobre este parámetro, que es significativamente mayor en la variedad Kennebec y en el año 2000. De acuerdo con los resultados de otros autores (Herlihy y Carroll, 1969; Moinuddin *et al.*, 2004), el peso medio del tubérculo aumenta con la dosis de potasio aplicada, siendo significativamente mayor en las parcelas más fertilizadas ($450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$) que en las parcelas que recibieron $150 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ y en las parcelas control.

Se han encontrado correlaciones significativas de diversos parámetros del suelo, hoja, peciolo y tubérculo con el rendimiento total para los niveles de significación presentados en la Tabla 5.153.

Tabla 5.153.- Coeficientes de regresión para las correlaciones de rendimiento total con distintos parámetros del tubérculo, del suelo (en la emergencia) y de la hoja y peciolo (en el fin de la tuberización)

	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
Rendimiento comercial	0,786**	0,873**	0,731**	0,898**	0,744**	0,624**
pH en agua	-0,322*					
P Olsen	0,423**					
P Mehlich3	0,473**		0,445*	0,355*		0,545**
Potasio de cambio suelo				0,487**	0,543**	0,407**
Calcio de cambio suelo					0,399**	0,358**
Magnesio de cambio suelo				0,316*		0,474**
CIC efectiva			0,447*		0,410**	0,432**
Relación Ca/K			-0,500**	-0,558**		
Relación K/Mg				0,396**	0,385**	
Hierro Mehlich 3					0,345**	
Manganeso Mehlich 3	0,311*					0,481**
Cinc Mehlich 3						0,282*
Nitrógeno en hoja			0,451*			0,547**
Nitrógeno en peciolo			0,461*			0,383**
Potasio en hoja			0,456*	0,381**	0,358**	0,422**
Potasio en peciolo					0,372**	
Calcio en hoja					-0,347**	
Calcio en peciolo				-0,428**		
Magnesio en peciolo				-0,365**	-0,327*	
Nitrógeno en tubérculo				0,333**		
Magnesio en tubérculo			0,579**			
Potasio en tubérculo			0,634**			
Cinc en tubérculo				0,261*		

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Como en el ensayo de fertilización mixta, las correlaciones difieren entre los tres años, lo que se atribuye a la diferente composición del suelo inicial utilizado en el ensayo.

También se encuentran diferencias entre las dos variedades ensayadas, que ponen de manifiesto los distintos requerimientos nutritivos de ambas.

Las correlaciones con P Olsen y Mehlich 3 parecen indicar la mejor adecuación de este último reactivo para determinar fósforo asimilable en estos suelos, ya comentada en capítulos anteriores.

Las correlaciones con K, Ca y Mg así como con la capacidad de cambio catiónico efectiva podrían indicar mayores necesidades de cationes alcalinos y alcalinotérreos en la variedad Kennebec.

Como en el ensayo de fertilización mixta, se encontraron correlaciones con cinc y otros micronutrientes asimilables en algún año y variedad.

Mediante un método de regresión lineal por pasos sucesivos, se obtienen las siguientes estimaciones del rendimiento en función de los parámetros del suelo y de los parámetros de la vegetación, para los tres años de estudio por separado y para los tres años juntos (Tabla 5.154):

Tabla 5.154. Estimación del rendimiento (t/ha) a partir de distintos parámetros del suelo o de la vegetación para las dos variedades

Variedad Agria		
Año	Suelo	R ²
	Ecuación	
1998	$R = 55,078 + 0,93 \times P \text{ Mehlich 3} - 5,683 \times \text{pH en agua}$	0,292
2000	$R = 48,077 - 2,798 \times \text{Ca/K} + 5,821 \times \text{CIC}_e$	0,442
Los tres años	$R = 43,731 - 0,466 \times \text{Ca/K} + 0,189 \times P \text{ Olsen}$	0,237
Año	Vegetación	R ²
	Ecuación	
2000	$R = 33,359 + 4,271 \times \text{N en peciolo} + 0,285 \times \text{K en hoja}$	0,523

Suelo: P = Fósforo asimilable (extraíble con Mehlich 3); Ca/K = relación Ca/K de cambio; CIC_e = capacidad de intercambio catiónica efectiva; P = Fósforo asimilable (extraíble con Olsen) Zn = Zn disponible (extraído con Mehlich 3); K = potasio de cambio, y K/Mg = relación K/Mg de cambio

Suelo (en la emergencia); hoja y peciolo (en el fin de la tuberización)

Variedad Kennebec		
Año	Suelo	
	Ecuación	R ²
1998	$R = 54,315 - 0,765 \times Ca/K$	0,321
1999	$R = 30,113 + 12,347 \times K_{\text{cambio}} + 0,014 \times Fe \text{ Mehlich3} + 2,900 K/Mg$	0,446
2000	$R = 27,131 + 0,182 \times P \text{ Mehlich 3}$	0,297
Los tres años	$R = 38,948 + 14,796 \times K_{\text{cambio}}$	0,208
Año	Vegetación	
	Ecuación	R ²
1998	$R = 43,731 - 1,070 \times Ca \text{ en peciolo} + 0,289 K \text{ en hoja}$	0,280
1999	$R = 40,644 + 0,079 \times K \text{ en peciolo}$	0,138
2000	$R = 29,182 + 3,148 \times N \text{ en hoja} + 0,141 \times K \text{ en hoja}$	0,376
Los tres años	$R = 36,488 + 0,1985 \times K \text{ en hoja} + 0,029 \times K \text{ en peciolo}$	0,181

Suelo: Ca/K = relación Ca/K de cambio; K = potasio de cambio; Fe = Hierro asimilable (extraíble con Mehlich 3); K/Mg = relación K/Mg; P = Fósforo asimilable (extraíble con Mehlich 3)

Suelo (en la emergencia); hoja y peciolo (en el fin de la tuberización)

Los parámetros del suelo que tienen una mayor influencia en la varianza del rendimiento total en las dos variedades son la relación Ca/K, el K de cambio y el P disponible (Mehlich 3). La relación Ca/K tiene una influencia negativa en el rendimiento lo que parece indicar la existencia de un antagonismo entre dichos nutrientes de modo que la absorción de K podría estar limitada por la abundancia relativa de Ca. Esto explicaría los valores de K foliar por debajo de niveles críticos que se obtienen con frecuencia en este ensayo. El K de cambio y el P disponible (Mehlich 3) influyen positivamente en el rendimiento. Además, en todos los años y en las dos variedades el rendimiento se explica, en parte, por el K en hoja y/o peciolo lo que confirma la importancia de este elemento en la producción total de patata de las dos variedades.

Materia seca

Las concentraciones de materia seca en el tubérculo oscilaron entre 19,8 Y 28,0% en la variedad Agria y entre 19,7 y 25,5% en la variedad Kennebec (Tabla 5.155). Los valores son, en general, similares a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.155.- Materia seca en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	24,6	23,0	28,0	25,4	21,5	25,5
N1P1K1	21,7	n.d.	n.d.	23,1	23,3	22,1
N1P1K2	22,7	22,1	22,3	22,6	21,9	22,9
N1P1K3	24,9	n.d.	n.d.	23,3	21,6	21,5
N1P2K1	23,0	22,8	24,3	21,3	23,1	23,0
N1P2K2	24,4	n.d.	n.d.	22,5	21,9	21,9
N1P2K3	21,0	22,3	22,3	21,1	21,7	21,7
N2P1K1	22,3	n.d.	n.d.	22,7	23,0	20,9
N2P1K2	22,6	21,8	21,8	22,1	22,8	20,1
N2P1K3	21,4	n.d.	n.d.	20,8	21,3	22,6
N2P2K1	22,1	23,5	23,7	22,5	22,8	22,5
N2P2K2	24,3	n.d.	n.d.	20,7	22,8	19,7
N2P2K3	23,3	20,6	22,4	21,9	21,1	23,3
N3P1K1	23,4	n.d.	n.d.	22,9	22,8	22,4
N3P1K2	23,3	22,3	22,1	21,4	22,4	20,9
N3P1K3	24,0	n.d.	n.d.	21,4	21,5	24,3
N3P2K1	23,8	21,8	24,6	20,9	22,8	23,6
N3P2K2	23,7	n.d.	n.d.	21,1	22,2	22,1
N3P2K3	21,7	19,8	21,9	19,9	20,8	21,7

La concentración de materia seca está influida significativamente ($p < 0,05$) por la fertilización potásica (Figura 5.124), disminuyendo a medida que aumenta la dosis de potasio en todo el rango estudiado (0 a 450 kg K_2O ha^{-1}). Similares resultados fueron publicados por Herlihy y Carroll (1969), Westermann *et al.* (1994b), Kolbe *et al.* (1995b) y Allison *et al.* (2001).

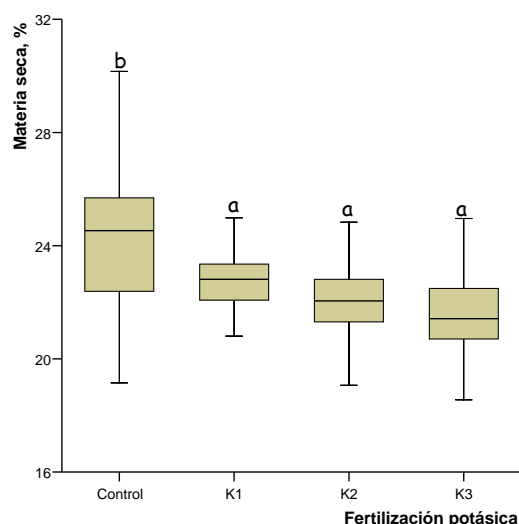


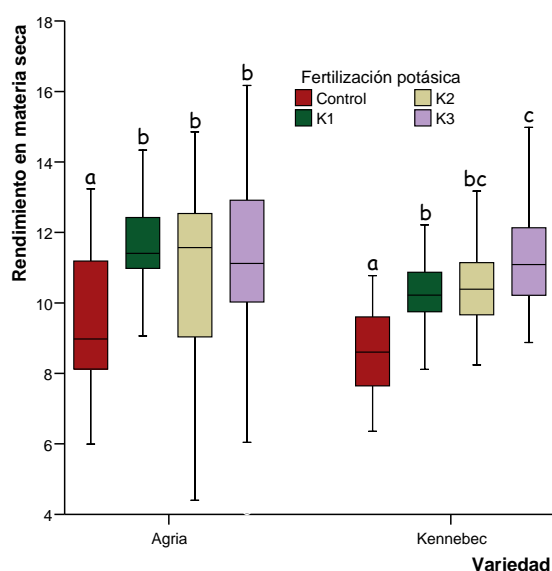
Figura 5.124.- Porcentajes de materia seca en función de la fertilización potásica

Las fertilizaciones nitrogenada y fosfatada no tienen influencia significativa sobre la concentración de materia seca.

Para la producción de patatas fritas en láminas, los tubérculos deben tener una concentración de materia seca comprendida entre 20 y 25% (Kita, 2002). Tubérculos con menor porcentaje de materia seca producen bajos rendimientos, mayor consumo de aceite y *crisps* más grasientos y menos crujientes. La mayoría de los tubérculos del presente ensayo, incluidos los producidos con las mayores dosis de potasio, cumplen esta condición.

El porcentaje de materia seca presenta en 1998 y 2000 correlaciones negativas significativas con el rendimiento del cultivo ($r=-0,466$, $p<0,0001$ en 1998; $r=-0,379$, $p=0,004$ en 2000).

A partir de los valores de rendimiento y porcentaje de materia seca, se calcularon los rendimientos en materia seca para cada variedad y tratamiento. Este parámetro está



influido significativamente ($p<0,05$) por el año, la variedad y la fertilización potásica, existiendo interacción variedad x fertilización potásica. El rendimiento de materia seca, lo mismo que el rendimiento en materia fresca, es mayor en la variedad Agria. Este rendimiento aumenta con la fertilización potásica en la variedad Kennebec, pero las diferencias no son significativas en la variedad Agria (Figura 5.125).

Figura 5.125.- Rendimiento en materia seca para las dos variedades en función de la fertilización potásica

Densidad

La densidad del tubérculo varía entre 1,065 y 1,101 para la variedad Agria y entre 1,071 y 1,096 g cm^{-3} para la variedad Kennebec.

Los valores de densidad del tubérculo están influenciados significativamente ($p<0,05$) por el año y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fertilización potásica.

La densidad del tubérculo aumenta ($p<0,05$) en el orden 1998 < 2000 < 1999 (Figura 5.126), coincidiendo con los resultados del ensayo de fertilización mixta.

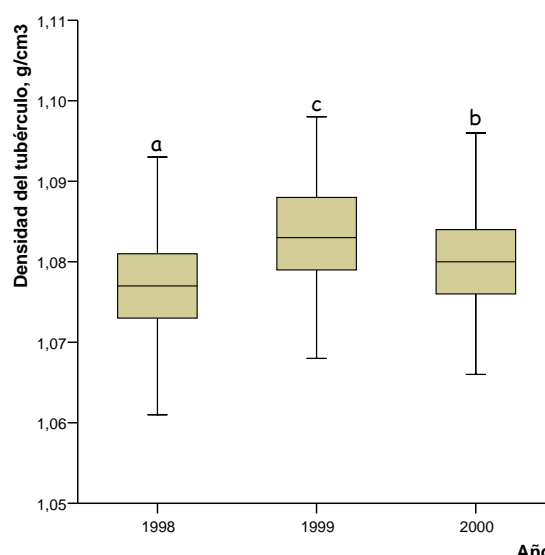


Figura 5.126. Densidad del tubérculo en función del año de ensayo

La densidad disminuye con aportes elevados de fertilización potásica (Tabla 5.156), de acuerdo con los resultados publicados por Harrison *et al.* (1982), Westermann *et al.* (1994a) y Panique *et al.* (1997).

Tabla 5.156.- Valores medios de densidad para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico

POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	Densidad, g cm ⁻³		
	1998	1999	2000
0	1,087 b	1,086 b	1,094 c
150	1,078 a	1,089 b	1,083 b
300	1,076 a	1,082 a	1,080 b
450	1,076 a	1,079 a	1,075 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de K

La densidad media del tubérculo, para las dos variedades, es superior a 1,080 g cm⁻³, el valor umbral recomendado para patatas fritas en láminas (*crisps*) por Borruey *et al.* (2000), en 1999 y 2000, no alcanzándolo en 1998. En general, este valor no es alcanzado en los tubérculos desarrollados con las dosis más altas de potasio (Tabla 5.156).

Como en el ensayo de fertilización mixta, la densidad del tubérculo se correlaciona significativamente ($p < 0,01$) con el porcentaje de materia seca. Consecuentemente, la densidad presenta en 1998 y 2000 correlaciones negativas significativas con el rendimiento del cultivo ($r = -0,334$, $p = 0,0002$ en 1998; $r = 0,469$, $p < 0,0001$ en 2000).

Composición química

Almidón

El almidón se estima a partir del valor de la densidad mediante la relación (von Schéele *et al.*, 1937):

$$\% \text{ Almidón} = 17,546 + (199,07 \times \text{peso específico}) - (199,07 \times 1,0988)$$

Varía entre 10,9 y 17,6 % para la variedad Agria y entre 12,1 y 17,1 % para la variedad Kennebec, valores similares a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, el porcentaje de almidón se encuentra generalmente por debajo del 15%, considerado el mínimo recomendable para patatas fritas en láminas (Kita, 2002), en 1998 y en algunos tratamientos en los años 1999 y 2000.

Puesto que la concentración de almidón se estima a partir de la densidad, se observan en aquélla los mismos efectos principales que en ésta, siendo mayor en las parcelas control y en 1999 (Tabla 5.157).

Tabla 5.157.- Valores de almidón para cada año de ensayo y dosis de fertilizante potásico

POTASIO, kg K ₂ O ha ⁻¹	Almidón, %		
	1998	1999	2000
0	15,6 b	15,2 bc	17,3 c
150	13,8 a	15,9 c	14,6 b
300	13,0 a	14,6 ab	14,0 b
450	13,0 a	13,8 a	13,0 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre niveles de K

Nitrógeno y Proteína total

Las concentraciones medias de nitrógeno en tubérculo varían entre 1,1 y 2,0% en la variedad Agria y entre 1,0 y 2,3% en la variedad Kennebec (Tabla 5.158). Estos valores son similares a los presentados por otros autores (Leszczynski y Lisinska, 1988; Warman y Havard, 1998; Kolbe *et al.*, 1995b; Lema, 1996) y a los obtenidos en el presente estudio en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.158.- % Nitrógeno y % Proteína total en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

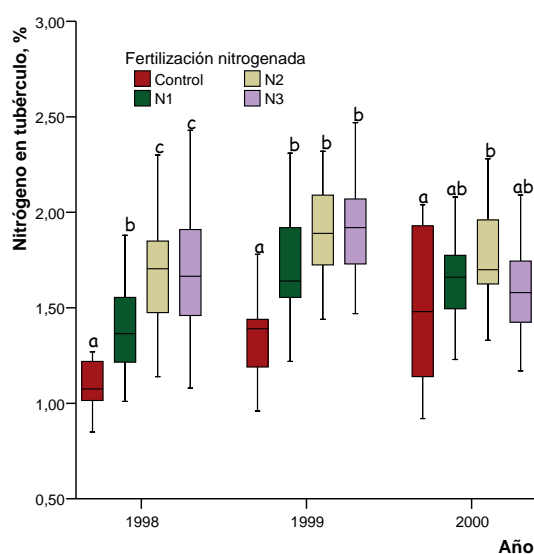
Tratamiento	Agria						Kennebec					
	% Nitrógeno			% Proteína total			% Nitrógeno			% Proteína total		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	1,27	1,42	1,66	7,9	8,8	10,4	1,05	1,31	1,42	6,5	8,2	8,9
N1P1K1	1,55	n.d.	n.d.	9,7	n.d.	n.d.	1,25	1,80	1,56	7,8	11,3	9,8
N1P1K2	1,25	1,70	1,70	7,8	10,6	10,6	1,71	2,34	1,58	10,7	14,6	9,9
N1P1K3	1,21	n.d.	n.d.	7,6	n.d.	n.d.	1,40	1,60	1,53	8,7	10,0	9,5
N1P2K1	1,25	1,54	1,80	7,8	9,6	11,2	1,55	1,88	1,72	9,7	11,7	10,7
N1P2K2	1,32	n.d.	n.d.	8,2	n.d.	n.d.	1,23	1,88	1,82	7,7	11,8	11,4
N1P2K3	1,58	1,56	1,59	9,9	9,8	9,9	1,47	1,35	1,44	9,2	8,5	9,0
N2P1K1	1,81	n.d.	n.d.	11,3	n.d.	n.d.	1,61	2,14	1,99	10,1	13,4	12,4
N2P1K2	1,88	1,96	2,02	11,8	12,2	12,7	1,81	1,96	1,56	11,3	12,3	9,8
N2P1K3	1,44	n.d.	n.d.	9,0	n.d.	n.d.	1,60	1,75	1,57	10,0	10,9	9,8
N2P2K1	1,61	1,87	1,88	10,1	11,7	11,7	1,81	1,79	1,62	11,3	11,2	10,1
N2P2K2	1,36	n.d.	n.d.	8,5	n.d.	n.d.	2,09	1,96	1,75	13,1	12,3	10,9
N2P2K3	1,93	1,67	1,62	12,0	10,5	10,1	1,36	1,93	1,86	8,5	12,0	11,6
N3P1K1	1,37	n.d.	n.d.	8,6	n.d.	n.d.	1,74	1,97	1,50	10,9	12,3	9,4
N3P1K2	1,96	1,77	1,56	12,2	11,1	9,7	1,64	2,08	1,70	10,3	13,0	10,6
N3P1K3	1,69	n.d.	n.d.	10,6	n.d.	n.d.	1,78	1,78	1,23	11,1	11,1	7,7
N3P2K1	1,75	1,62	1,87	10,9	10,1	11,7	1,60	2,17	1,66	10,0	13,5	10,4
N3P2K2	1,79	n.d.	n.d.	11,2	n.d.	n.d.	1,63	1,68	1,47	10,2	10,5	9,2
N3P2K3	1,44	1,99	1,92	9,0	12,4	12,0	1,79	2,08	1,56	11,2	13,0	9,7

Las concentraciones de proteína total, estimadas a partir de los porcentajes de N, variaron entre 7,6 y 12,7% en la variedad Agria y entre 6,5 y 14,6% en la variedad Kennebec (Tabla 5.158).

El año y la fertilización nitrogenada ejercen efectos principales sobre los porcentajes de nitrógeno y proteína total en tubérculo.

En cuanto al año, los porcentajes de nitrógeno y proteína total son significativamente

($p < 0,05$) mayores en 1999 que en 2000 y en 2000 mayores que en 1998.



La aplicación de fertilización nitrogenada hasta 180 kg N ha⁻¹ da lugar a un aumento de la concentración de nitrógeno en tubérculo. Dependiendo del año, la aplicación de 230 kg N ha⁻¹ no incrementa significativamente la concentración de nitrógeno en tubérculo o produce una disminución de la misma (Figura 5.127).

Figura 5.127. Porcentaje de nitrógeno en función del año de ensayo y de la fertilización nitrogenada

Se han encontrado correlaciones significativas entre el nitrógeno del tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia) para los niveles de significación presentados en la Tabla 5.159.

Tabla 5.159.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones del porcentaje de nitrógeno en tubérculo con distintos parámetros del suelo (en la emergencia)

	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
pH suelo en agua		-0,453*	-0,368*			-0,296*
P Olsen						0,324*
P Mehlich3	0,279*			0,287*		0,315*
Nitrato suelo	0,442**			0,373**	0,485**	
Nitrógeno total suelo	0,335*			0,298*		
Potasio de cambio suelo	0,278*					
Magnesio de cambio suelo	0,320*					
Cinc Mehlich 3					0,296*	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

Las correlaciones con el nitrato del suelo son mejores que con el nitrógeno total, pero en ningún caso se presentan todos los años. Las correlaciones con otros parámetros del suelo se presentan algunos años y en alguna de las variedades.

Fósforo

La concentración de fósforo en tubérculos oscila entre 2,48 g kg⁻¹ y 4,05 g kg⁻¹ de peso seco para los distintos tratamientos a lo largo de los tres años de estudio en la variedad Agria y entre 2,75 y 4,30 g kg⁻¹ en la variedad Kennebec (Tabla 5.160).

Estas concentraciones son mayores que las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta y que las presentadas por Warman y Havard (1998), para la variedad Superior, y por Kolbe *et al.* (1995b) para la variedad Grata. Son, sin embargo, ligeramente inferiores para distintos tratamientos nitrogenados a las encontradas por Leszczynski y Lisinska (1988) en catorce variedades de patata, están dentro del rango de las obtenidas por Lema (1996) para fertilización mineral en Bergantiños (en cuatro variedades de patata, entre ellas la Kennebec) y serían calificados como normales (0,17-0,32%) por Matutano (1983).

Tabla 5.160.- Concentración de fósforo en tubérculos, g kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Agrid			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	3,35	2,95	3,11	2,82	3,21	2,75
N1P1K1	3,87	n.d.	n.d.	3,47	3,53	2,91
N1P1K2	2,97	3,48	3,83	3,36	3,73	3,43
N1P1K3	2,80	n.d.	n.d.	2,83	3,65	3,29
N1P2K1	3,42	3,67	3,62	3,33	4,03	3,25
N1P2K2	3,52	n.d.	n.d.	3,77	3,69	3,01
N1P2K3	3,49	3,05	3,56	2,86	3,33	3,61
N2P1K1	3,73	n.d.	n.d.	3,48	3,69	3,21
N2P1K2	2,48	3,02	3,41	3,47	3,42	3,08
N2P1K3	2,97	n.d.	n.d.	2,99	4,01	3,39
N2P2K1	4,05	3,90	3,21	3,80	3,34	3,43
N2P2K2	3,21	n.d.	n.d.	3,44	3,46	3,48
N2P2K3	3,93	3,81	3,66	3,42	3,91	3,18
N3P1K1	3,59	n.d.	n.d.	3,03	3,70	3,74
N3P1K2	3,32	3,07	3,28	3,16	3,55	3,53
N3P1K3	3,16	n.d.	n.d.	3,12	3,47	3,15
N3P2K1	3,96	3,65	4,04	3,29	4,30	3,33
N3P2K2	3,29	n.d.	n.d.	3,33	3,60	4,02
N3P2K3	3,51	3,85	3,80	3,65	3,92	3,56

La concentración de fósforo está influenciada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fertilización fosforada y la fertilización potásica, habiendo interacción año x variedad y variedad x fertilización potásica.

Para la variedad Agrid la concentración de fósforo en tubérculo no varía significativamente con el año de ensayo, mientras que para la variedad Kennebec es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1999 (Figura 5.128).

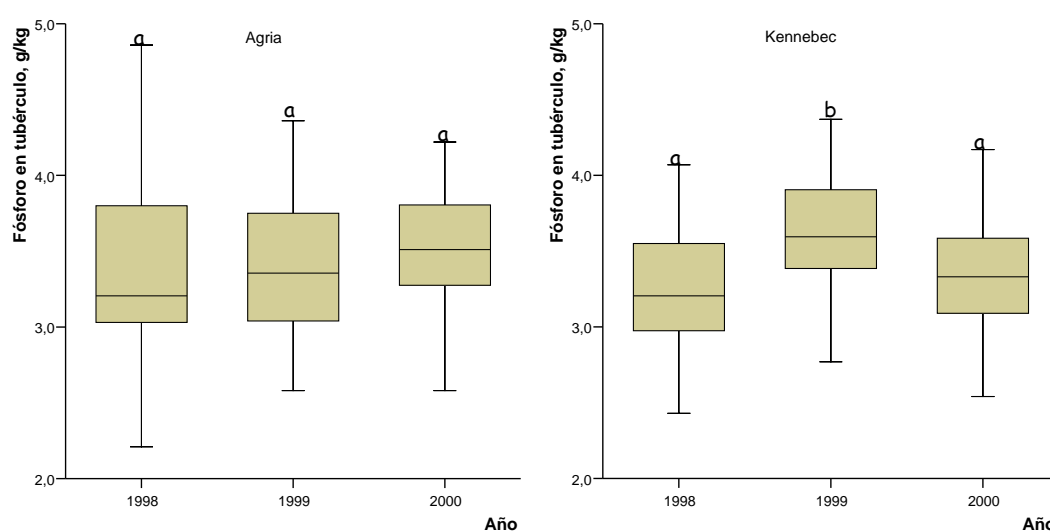
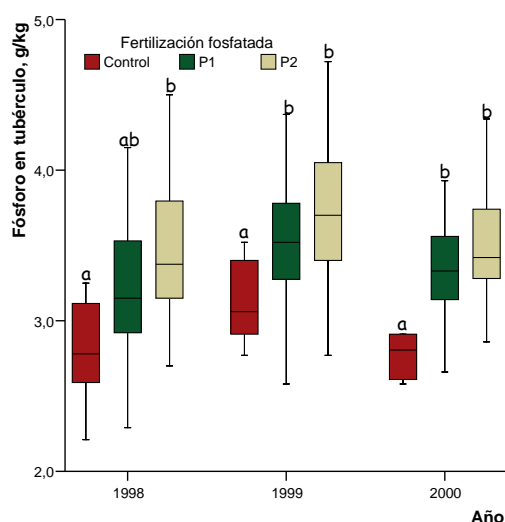


Figura 5.128. Concentración de fósforo según el año para las dos variedades de estudio: Agrid y Kennebec



La concentración de fósforo en tubérculo aumenta significativamente ($p < 0,05$) en los tres años de ensayo con la fertilización fosfatada, hasta la dosis más alta de 200 kg $P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ (Figura 5.129).

Figura 5.129. Concentración de fósforo en tubérculo según el año y la fertilización fosfatada

Según Sharma y Arora (1987), el nitrógeno no afecta al contenido de fósforo en tubérculos, coincidiendo con los resultados del presente ensayo. Para Jiménez Aguilar (1994) el porcentaje de fósforo en tubérculo no varía significativamente con la fertilización nitrogenada ni con la fertilización potásica. Tampoco Lema (1996) encuentra efectos significativos del abonado nitrogenado ni potásico sobre la concentración de fósforo en tubérculos.

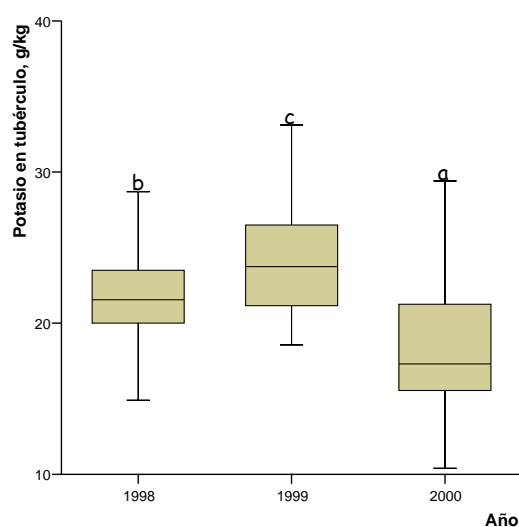
Por el contrario, según Bulaev y Bulaeva (1975) los aportes de nitrógeno influyen favorablemente en el contenido de fósforo en tubérculos.

Potasio

La concentración de potasio en los tubérculos oscila entre 13,5 g kg^{-1} y 29,7 g kg^{-1} de peso seco para los distintos tratamientos a lo largo de los tres años de estudio en la variedad Agria y entre 13,1 y 29,4 g kg^{-1} en la variedad Kennebec (Tabla 5.161), valores similares o ligeramente superiores a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

Tabla 5.161.- Concentración de potasio en tubérculos, g kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	24,1	22,6	13,5	21,1	24,6	13,1
N1P1K1	21,6	n.d.	n.d.	22,8	21,9	15,8
N1P1K2	21,3	22,8	15,9	21,6	24,8	18,4
N1P1K3	23,1	n.d.	n.d.	26,6	28,7	26,2
N1P2K1	20,4	21,9	14,8	21,0	23,1	17,8
N1P2K2	21,2	n.d.	n.d.	21,9	25,7	19,9
N1P2K3	25,0	27,4	26,1	23,5	23,7	21,8
N2P1K1	21,6	n.d.	n.d.	19,0	24,3	15,7
N2P1K2	20,2	21,0	17,2	24,5	21,2	13,6
N2P1K3	20,3	n.d.	n.d.	22,2	29,4	24,1
N2P2K1	22,6	22,2	15,5	19,3	23,3	14,9
N2P2K2	19,6	n.d.	n.d.	22,1	22,8	18,7
N2P2K3	23,6	27,2	26,6	22,3	27,0	22,8
N3P1K1	22,2	n.d.	n.d.	16,7	21,4	15,8
N3P1K2	22,4	19,4	19,9	22,3	21,2	15,3
N3P1K3	28,5	n.d.	n.d.	25,3	27,8	18,1
N3P2K1	18,8	22,9	14,0	20,0	23,6	15,0
N3P2K2	18,5	n.d.	n.d.	20,9	22,3	21,7
N3P2K3	23,5	29,7	21,0	26,6	28,1	19,7



La concentración de potasio en tubérculo está influenciada significativamente ($p < 0,05$) por el año y la fertilización potásica, habiendo interacción entre ambos factores.

La concentración de potasio varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 1998 > 2000 (Figura 5.130).

Figura 5.130. Concentración del potasio según el año

En 2000, la concentración de potasio en tubérculo aumenta significativa ($p < 0,05$) y continuamente con la aplicación de fertilización potásica hasta 450 kg K₂O ha⁻¹ (Figura 5.131). En 1998 y 1999 únicamente la aplicación de 450 kg K₂O ha⁻¹ produce concentraciones de potasio en tubérculo significativamente mayores que el tratamiento control.

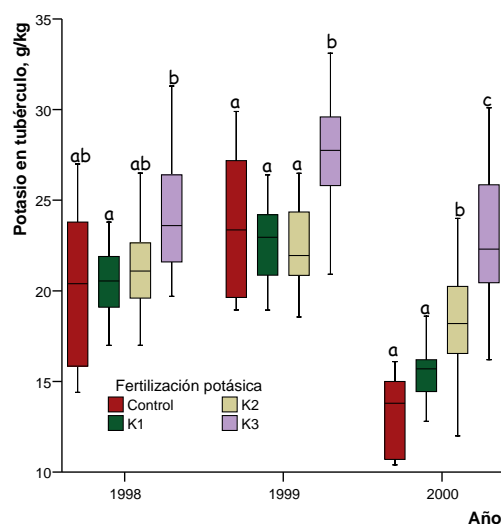


Figura 5.131. Concentraciones de potasio en tubérculo según el año y la fertilización potásica

Los resultados del presente ensayo concuerdan con los de Leszczynski y Lisinska (1988), que no encuentran efectos significativos de la fertilización nitrogenada en la concentración de potasio en tubérculo. Sin embargo, Jiménez Aguilar (1994) refiere que la cantidad de potasio extraída por el cultivo se incrementa con los niveles de nitrógeno. Sharma y Arora (1987), por el contrario, afirman que la fertilización nitrogenada disminuye la concentración de potasio en tallos y tubérculos.

La concentración de potasio en tubérculo está correlacionada con distintos parámetros y para los niveles de significación mostrados en la Tabla 5.162.

Tabla 5.162.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de potasio con distintos parámetros

	1998	1999	2000
Materia seca		-0,476**	-0,351**
pH suelo en agua	0,324**	0,241*	
Potasio de cambio suelo	0,277**	0,599**	0,636**
Calcio de cambio suelo		0,507**	0,523**
Magnesio de cambio suelo		0,358**	
CIC efectiva		0,531**	0,557**
Potasio en hoja	0,267**	0,534**	0,452**
Potasio en peciolo	0,215*	0,443**	0,411**
Fósforo en tubérculo	0,331**	0,378**	0,242*
Calcio en tubérculo	0,191*		0,304**
Magnesio en tubérculo	0,436**	0,571**	0,680**

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

De acuerdo con los resultados del ensayo de fertilización mixta y de otros autores (Westermann *et al.*, 1994a y b; Panique *et al.*, 1997), la concentración de potasio en tubérculo presenta en 1999 y 2000 una correlación significativa negativa con la concentración de materia seca. También en concordancia con el ensayo de fertilización mixta, la concentración de potasio en tubérculo está correlacionada significativa y positivamente con la concentración de Mg en tubérculo en los tres años de ensayo, indicando una posible sinergia entre estos dos nutrientes. Las correlaciones son altamente significativas con el potasio de cambio y la capacidad de cambio del suelo (sólo en 1999 y 2000) y con las concentraciones de potasio en hoja y en peciolo.

Extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio por la cosecha

A partir de los datos de rendimiento total, porcentaje de materia seca y concentraciones de N, P y K en tubérculo, se calcularon las extracciones de estos elementos por la cosecha, que se resumen en la Tabla 5.163.

Tabla 5.163. Intervalos de variación y valores medios de las extracciones por la cosecha en cada año de ensayo y en los tres años

	1998	1999	2000	Los tres años
Variedad Agria				
Extracción N, kg ha ⁻¹	102-224 (172 ^a)	133-234 (194 ^a)	187-285 (236 ^b)	102-285 (196)
Extracción P, kg ha ⁻¹	27-47 (38 ^a)	28-46 (39 ^a)	35-61 (48 ^b)	27-61 (41)
Extracción K, kg ha ⁻¹	194-305 (244 ^a)	212-334 (268 ^a)	152-415 (252 ^a)	152-415 (264)
Variedad Kennebec				
Extracción N, kg ha ⁻¹	89-211 (164 ^a)	116-237 (195 ^b)	117-212 (176 ^{ab})	89-237 (169)
Extracción P, kg ha ⁻¹	24-43 (34 ^a)	28-51 (38 ^b)	23-48 (37 ^{ab})	23-51 (36)
Extracción K, kg ha ⁻¹	179-312 (227 ^{ab})	217-373 (257 ^b)	108-307 (202 ^a)	108-373 (243)

Letras diferentes en los valores medios indican diferencias significativas entre años

Las extracciones de nitrógeno son con frecuencia superiores al nitrógeno aportado, particularmente para las dosis N1 y N2 (Figura 5.132). Esto indica que el cultivo extrae nitrógeno de la reserva del suelo.

Las extracciones de fósforo son en la mayoría de los casos inferiores al aporte de este elemento (Figura 5.132), indicando que la fertilización da lugar a un incremento del fósforo residual en el suelo.

Las extracciones de potasio superan a los aportes en el caso de la dosis más baja K1, pero son, en general, inferiores al potasio aportado para la dosis K3 (Figura 5.132).

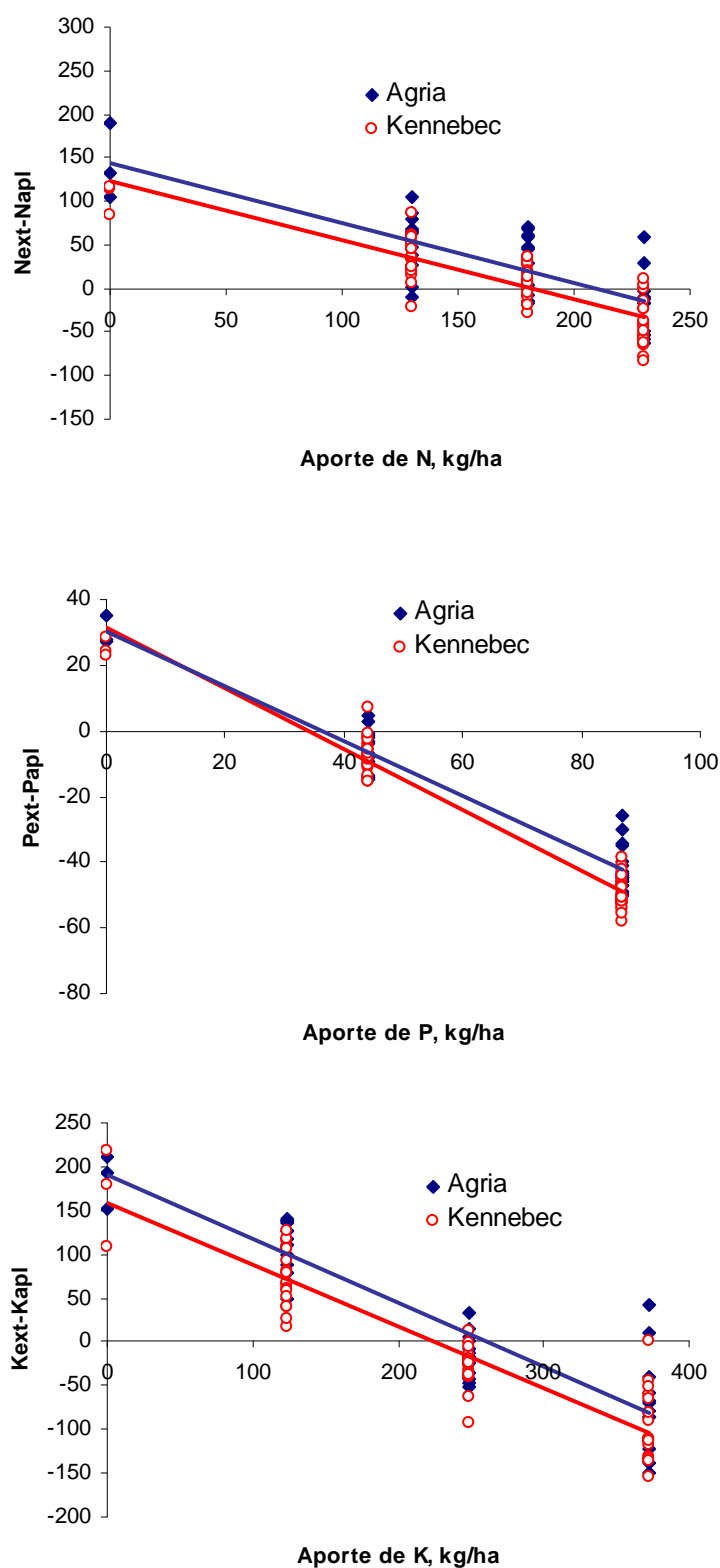


Figura 5.132. Diferencias entre N, P y K extraídos por los tubérculos y aplicados frente a los aportes con la fertilización

En la variedad Agria, las máximas extracciones de nitrógeno y fósforo se producen en 2000, coincidiendo con el máximo rendimiento, mientras no hay diferencias significativas entre años en las extracciones de potasio.

En la variedad Kennebec, las máximas extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio se producen en 1999, que no es el año de mayor rendimiento. Los máximos rendimientos en 2000 se producen con extracciones de potasio menores que en otros años, indicando un óptimo aprovechamiento del potasio en ese año.

En general, las extracciones son mayores para la variedad Agria que para la variedad Kennebec, si bien las diferencias no siempre son significativas. Estas mayores extracciones están relacionadas con mayores rendimientos de la variedad Agria.

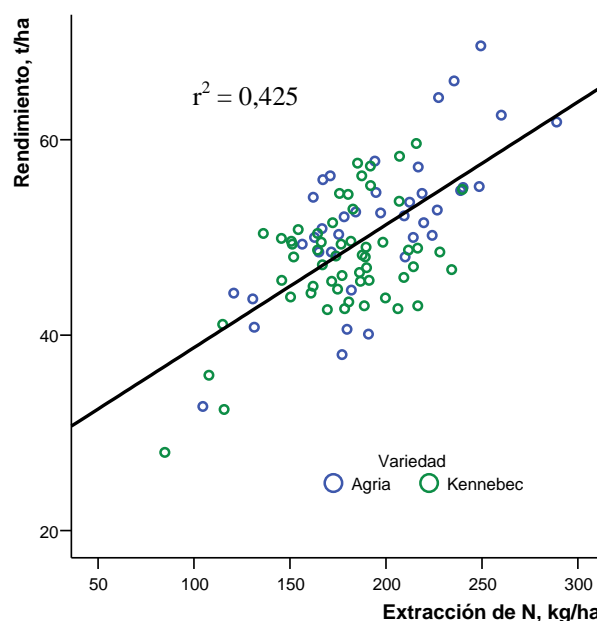


Figura 5.133. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de nitrógeno

Las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio son mayores en las parcelas fertilizadas que en las parcelas control. Sin embargo, las extracciones de nitrógeno y fósforo no son significativamente distintas entre los distintos niveles de fertilización. Por el contrario, las extracciones de potasio aumentan al hacerlo la fertilización potásica.

Como en el ensayo de fertilización mixta, el rendimiento de la cosecha se correlaciona positivamente con las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio (Figuras 5.133, 5.134 y 5.135). También en este ensayo la mejor correlación se obtiene con el fósforo, para el que un ajuste cuadrático da un coeficiente de determinación de 0,608.

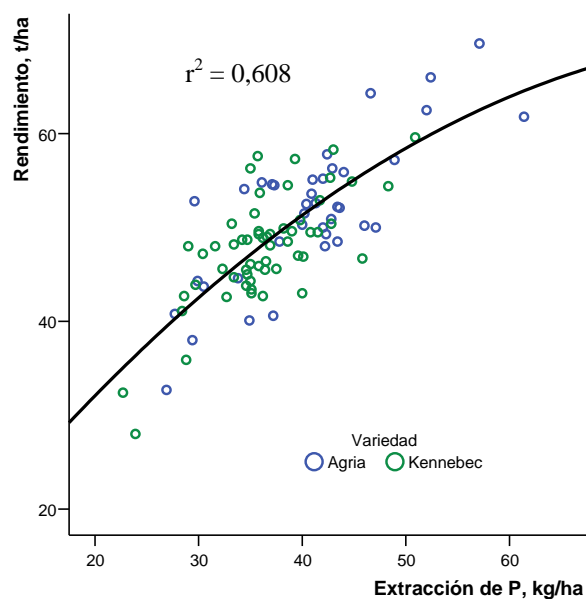


Figura 5.134. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de fósforo

Mediante un método de regresión lineal por pasos sucesivos, se obtiene la siguiente estimación del rendimiento en función de las extracciones de fósforo, potasio y nitrógeno:

$$\text{Rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} = 13,8 + 0,493 \times \text{extracción P (kg ha}^{-1}\text{)} + 0,034 \times \text{extracción K (kg ha}^{-1}\text{)} + 0,046 \times \text{extracción N (kg ha}^{-1}\text{)}$$

La extracción de P explica un 60% del rendimiento, conjuntamente con la de K explican un 65% y añadiendo la de N se explica un 68%.

Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, se refleja una baja influencia de la absorción de nitrógeno y potasio y una mayor influencia de la absorción de fósforo en el rendimiento del cultivo.

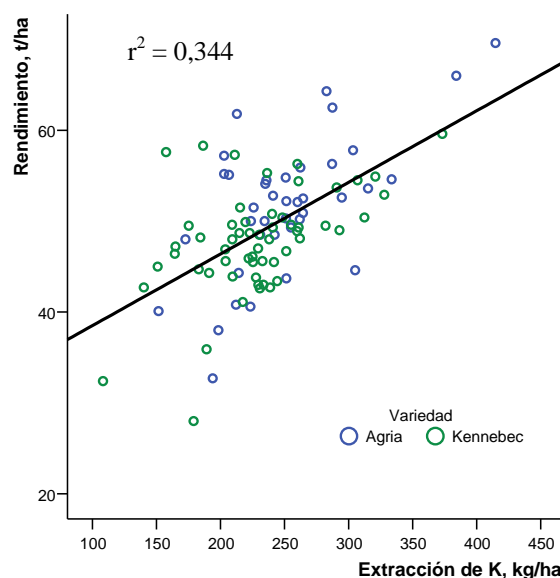


Figura 5.135. Rendimiento total de la cosecha en función de la extracción de potasio

Para la variedad Kennebec, las extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio por la cosecha en el ensayo de fertilización mineral son, en general, superiores a las del ensayo de fertilización mixta (Figuras 5.136, 5.137 y 5.138). Estas mayores extracciones no se justifican por un mayor rendimiento, ya que únicamente en 1998 el rendimiento en el ensayo de fertilización mineral es superior al de fertilización mixta. Tanto en 1998 como en 1999 (año en que los rendimientos no son significativamente diferentes en los dos ensayos), las extracciones de N, P y K son mayores en el ensayo de fertilización mineral. En 2000, en que el rendimiento obtenido es superior en el ensayo de fertilización mixta, las extracciones de nitrógeno son mayores en el ensayo de fertilización mineral, mientras las de fósforo y potasio no son significativamente diferentes. Esto indica que en el ensayo de fertilización mineral se produce un consumo de lujo de nutrientes, que no se traduce en una mayor producción.

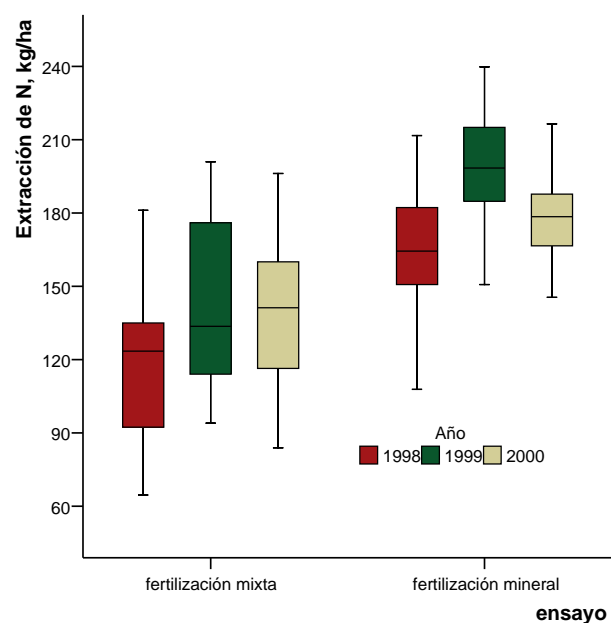


Figura 5.136. Extracciones de nitrógeno por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo

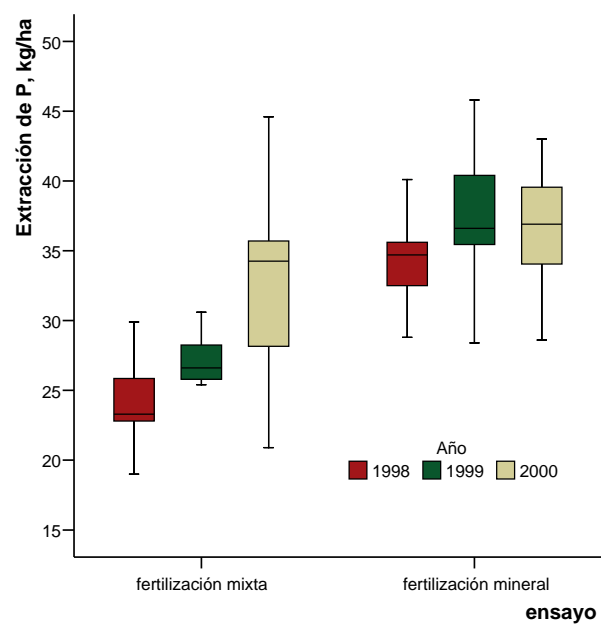


Figura 5.137. Extracciones de fósforo por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo

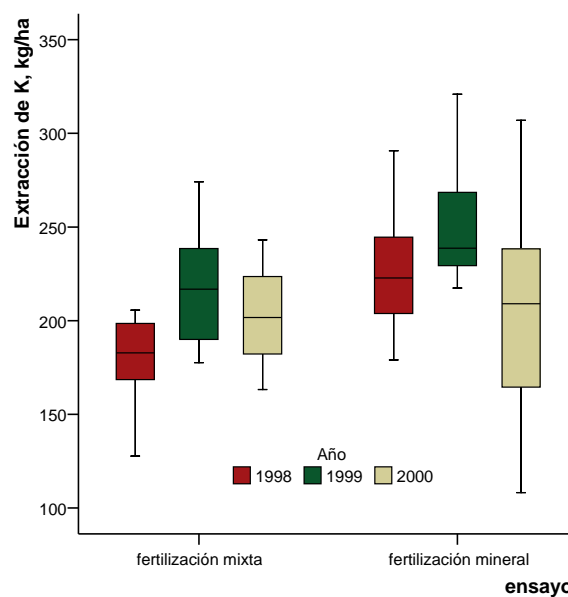


Figura 5.138. Extracciones de potasio por la cosecha de Kennebec en los ensayos de fertilización mineral y fertilización mixta en los tres años de ensayo

Calcio

Las muestras analizadas tienen una concentración de calcio que oscila entre 0,09 y 0,89 g kg⁻¹ materia seca en los distintos tratamientos y los tres años de muestreo para la variedad Agria y entre 0,07 y 0,72 g kg⁻¹ materia seca en la variedad Kennebec (Tabla 5.164). Estos valores, aún siendo muy bajos en comparación con los obtenidos por Lema (1996) para cuatro variedades de patata (entre ellas la Kennebec) en la comarca de Bergantiños (0,15-0,19%) y con el intervalo de 0,32-0,88% propuesto como normal por Matutano (1983), son considerablemente más altos que los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta.

La concentración de calcio está influenciada significativamente ($p < 0,05$) únicamente por el año, variando significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1999 > 1998 > 2000, sin que exista una relación entre esta variación y la observada en el calcio de cambio del suelo.

Tabla 5.164.- Concentración de calcio en tubérculos, g kg⁻¹ materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	0,18	0,38	0,09	0,20	0,31	0,07
N1P1K1	0,22	n.d.	n.d.	0,29	0,38	0,09
N1P1K2	0,19	0,89	0,12	0,24	0,60	0,13
N1P1K3	0,26	n.d.	n.d.	0,21	0,50	0,12
N1P2K1	0,21	0,67	0,12	0,20	0,37	0,10
N1P2K2	0,19	n.d.	n.d.	0,19	0,54	0,11
N1P2K3	0,18	0,33	0,15	0,17	0,38	0,11
N2P1K1	0,22	n.d.	n.d.	0,20	0,54	0,09
N2P1K2	0,29	0,61	0,12	0,19	0,53	0,07
N2P1K3	0,17	n.d.	n.d.	0,14	0,57	0,10
N2P2K1	0,25	0,55	0,13	0,20	0,55	0,10
N2P2K2	0,20	n.d.	n.d.	0,17	0,57	0,15
N2P2K3	0,22	0,56	0,11	0,17	0,62	0,09
N3P1K1	0,27	n.d.	n.d.	0,19	0,61	0,09
N3P1K2	0,23	0,54	0,13	0,19	0,56	0,14
N3P1K3	0,35	n.d.	n.d.	0,21	0,53	0,12
N3P2K1	0,23	0,65	0,12	0,21	0,61	0,09
N3P2K2	0,19	n.d.	n.d.	0,22	0,46	0,12
N3P2K3	0,25	0,69	0,12	0,24	0,53	0,13

Tabla 5.165.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de calcio con distintos parámetros

	1998	1999	2000
Nitrato suelo		0,264*	
Nitrógeno total suelo		0,322**	
CIC efectiva		0,245*	
Cinc Mehlich 3		0,306**	
Nitrógeno en hoja		0,401**	
Nitrógeno en peciolo		0,422**	
Fósforo en peciolo		0,400**	
Fósforo en tubérculo	0,188*		0,449**
Potasio en tubérculo	0,191*		0,304**
Magnesio en tubérculo	0,421**	0,221*	
Cinc en tubérculo	0,256**		

** La correlación es significativa al nivel 0,01.

* La correlación es significativa al nivel 0,05.

La concentración de calcio en tubérculo está correlacionada significativamente en 1999 con las concentraciones de nitrato o de nitrógeno en suelo, la capacidad de cambio efectiva y el cinc asimilable (Tabla 5.165). También se observan correlaciones significativas con las concentraciones de nitrógeno en hoja y peciolo, como en el ensayo de fertilización mixta, y con las concentraciones de diversos elementos en tubérculo.

Magnesio

La concentración de magnesio en los tubérculos varía entre 0,81 y 2,05 g kg⁻¹ de materia seca en los distintos tratamientos y los tres años de estudio para la variedad Agria y entre 0,87 y 2,07 g kg⁻¹ de materia seca en la variedad Kennebec (Tabla 5.166). Estas concentraciones, como las de calcio, siendo bajas en comparación con los valores presentados por otros autores (Matutano, 1983; Manrique y Uehara, 1984a y b; Yuan *et al.*, 1985; Lema, 1996), son superiores a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Estos resultados son contrarios a los de Kolbe *et al.* (1995b) o Warman y Havard (1998), que encuentran mayores concentraciones de magnesio en tubérculos cultivados con fertilización orgánica comparados con un tratamiento mineral (NPK).

Tabla 5.166.- Concentración de magnesio en tubérculo, g kg⁻¹ de materia seca, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	1,59	0,81	0,97	1,71	0,94	0,87
N1P1K1	1,91	n.d.	n.d.	1,96	0,96	1,35
N1P1K2	1,03	0,95	1,16	2,07	1,30	1,08
N1P1K3	2,02	n.d.	n.d.	1,74	1,27	1,94
N1P2K1	1,53	0,97	1,22	1,87	1,30	1,35
N1P2K2	1,75	n.d.	n.d.	1,96	0,96	1,74
N1P2K3	2,05	1,08	1,61	1,61	1,02	1,73
N2P1K1	1,85	n.d.	n.d.	1,50	1,12	1,26
N2P1K2	1,53	0,85	1,27	1,61	1,00	1,10
N2P1K3	1,64	n.d.	n.d.	1,61	1,23	1,80
N2P2K1	1,84	0,96	1,16	1,93	0,99	1,24
N2P2K2	1,38	n.d.	n.d.	1,83	1,02	1,09
N2P2K3	1,72	1,14	1,64	1,51	1,25	1,74
N3P1K1	1,82	n.d.	n.d.	1,54	1,03	1,84
N3P1K2	1,65	0,85	1,34	1,75	1,00	1,50
N3P1K3	2,03	n.d.	n.d.	1,85	1,21	1,49
N3P2K1	1,53	1,02	1,33	1,67	1,34	1,37
N3P2K2	1,83	n.d.	n.d.	1,62	0,92	1,64
N3P2K3	1,65	1,25	1,47	1,97	1,22	1,60

La concentración de magnesio está influenciada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fertilización potásica.

La concentración de magnesio varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1998 > 2000 > 1999, sin que, lo mismo que en el caso del calcio, exista una relación entre esta variación y la observada en el magnesio de cambio del suelo.

La concentración de magnesio es significativamente ($p < 0,05$) mayor en los tubérculos de parcelas fertilizadas que en las parcelas control, pero no existen diferencias significativas entre los distintos niveles de fertilización nitrogenada o fosfatada.

La fertilización potásica influye significativamente en los años 1999 y 2000. En estos dos años aumenta la concentración de magnesio con la fertilización y es mayor para la fertilización de $450 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$.

Tabla 5.167.- Coeficientes de regresión de Pearson para las correlaciones de la concentración de magnesio en tubérculo con distintos parámetros

	1998	1999	2000
Potasio de cambio suelo		0,363**	0,460**
Magnesio de cambio suelo		0,430**	0,293*
CIC efectiva		0,427**	0,432**
Potasio en hoja		0,242*	0,491**
Potasio en peciolo		0,373*	0,342**
Fósforo en tubérculo	0,352**	0,626**	0,339**
Potasio en tubérculo	0,436**	0,571**	0,680**
Calcio en tubérculo	0,421**	0,221*	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significativa al nivel 0,05

La concentración de magnesio en tubérculo está correlacionada significativamente con las concentraciones de calcio, potasio y fósforo en este mismo órgano (Tabla 5.167), coincidiendo parcialmente con los resultados del ensayo de fertilización mixta y de Rivero *et al.* (2003). Asimismo se observan correlaciones positivas con las concentraciones de potasio en hoja y peciolo y también con el potasio de cambio.

Micronutrientes

Las concentraciones de cobre en tubérculo están por debajo del límite de detección para las dos variedades y los tres años de estudio, pese a la existencia de elevadas concentraciones foliares. Las de hierro, manganeso y cinc se presentan en la Tabla 5.168.

Tabla 5.168.- Micronutrientes en tubérculos, mg kg⁻¹, para distintos tratamientos y los tres años de estudio

Micronutrientes en tubérculo, mg kg ⁻¹ , variedad Agria									
Tratamiento	1998			1999			2000		
	Hierro	Manganeso	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc
CONTROL	102,8	11,2	10,1	177,5	40,3	49,5	79,2	3,3	10,8
N1P1K1	122,5	11,1	17,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P1K2	101,3	13,6	19,8	182,4	42,6	56,0	78,0	7,6	12,6
N1P1K3	126,7	11,2	20,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K1	101,6	11,5	16,3	173,6	33,9	55,6	88,3	2,4	9,0
N1P2K2	124,9	11,4	25,5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N1P2K3	136,6	12,5	39,2	196,5	28,7	54,1	87,5	2,5	9,9
N2P1K1	117,1	10,1	20,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P1K2	100,9	10,1	17,7	178,8	43,9	67,0	98,7	4,1	11,6
N2P1K3	119,1	10,7	27,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K1	108,0	10,8	19,1	195,3	41,3	59,3	113,0	2,5	11,6
N2P2K2	103,6	11,7	18,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N2P2K3	121,8	11,7	30,9	183,1	77,0	57,1	70,8	1,7	5,9
N3P1K1	105,1	11,7	20,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P1K2	109,1	10,6	17,9	190,1	42,4	65,8	95,4	3,7	11,1
N3P1K3	112,8	11,0	23,7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K1	103,9	12,0	20,7	181,9	42,6	56,0	94,2	4,0	9,5
N3P2K2	106,3	12,3	18,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N3P2K3	110,3	11,8	16,7	181,7	29,2	54,9	86,2	4,0	11,3

Micronutrientes en tubérculo, mg kg ⁻¹ , variedad Kennebec									
Tratamiento	1998			1999			2000		
	Hierro	Manganeso	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc	Hierro	Manganeso	Cinc
CONTROL	119,1	11,3	12,0	190,1	39,8	58,9	71,5	0,8	10,8
N1P1K1	130,6	11,8	30,8	187,3	37,1	65,6	82,5	4,1	10,8
N1P1K2	119,1	12,6	26,2	188,7	36,1	64,4	84,1	6,2	10,6
N1P1K3	105,7	10,9	21,2	182,5	44,4	61,9	95,4	3,8	10,9
N1P2K1	189,5	10,4	26,6	177,4	43,2	62,3	99,1	6,5	11,7
N1P2K2	115,4	11,0	23,4	181,4	45,4	57,2	84,2	4,3	11,2
N1P2K3	109,4	10,5	20,0	169,3	31,0	60,1	83,8	4,0	11,4
N2P1K1	95,5	10,8	20,8	189,5	50,0	64,3	99,4	7,6	11,0
N2P1K2	110,9	12,5	20,7	192,1	62,2	61,5	94,0	2,5	8,6
N2P1K3	127,1	12,0	21,8	189,1	44,9	59,5	94,3	2,5	9,3
N2P2K1	113,3	12,8	23,8	183,0	39,2	60,7	103,5	3,2	9,8
N2P2K2	101,1	11,9	24,8	217,7	55,5	65,1	84,5	4,1	10,3
N2P2K3	118,2	11,1	20,9	192,9	45,2	66,3	99,8	1,7	10,5
N3P1K1	99,7	11,0	16,6	202,8	36,0	62,2	82,6	4,3	10,1
N3P1K2	108,8	11,9	20,6	173,5	39,3	59,4	86,6	3,4	10,4
N3P1K3	142,0	10,5	21,0	185,1	46,8	61,8	75,4	3,4	11,2
N3P2K1	94,8	11,5	17,5	184,8	52,8	60,4	97,3	4,8	12,3
N3P2K2	108,5	10,9	22,4	170,7	43,6	60,0	84,5	2,5	11,2
N3P2K3	107,0	11,0	27,0	191,5	39,2	63,3	86,9	6,6	9,9

Cinc

Las concentraciones de cinc en tubérculo oscilan entre 5,9 y 67,0 mg kg⁻¹ de materia seca en la variedad Agria y entre 8,6 y 66,3 mg kg⁻¹ en la variedad Kennebec, siendo muy superiores en el año 1999 a las concentraciones encontradas por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior (de 8,8 a 13,8 mg kg⁻¹) y por Srikumar y Öckerman (1990) para la variedad Provita (de 11,1 a 18,2 mg kg⁻¹). Elevadas concentraciones de cinc en tubérculo coinciden con altas concentraciones foliares.

La concentración de cinc está afectada significativamente por el año, la variedad, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosforada y la fertilización potásica, habiendo interacción año x fertilización nitrogenada.

Los tres años de ensayo dan lugar a concentraciones de cinc significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximas en el año 1999.

Las concentraciones de cinc son significativamente ($p < 0,05$) mayores en la variedad Kennebec que en la Agria.

Las concentraciones de cinc son significativamente ($p < 0,05$) mayores en los tubérculos de las parcelas fertilizadas que en las parcelas control, sin que las diferencias entre diferentes niveles de fertilización nitrogenada, fosfatada o potásica muestren una tendencia consistente.

Hierro

Las concentraciones de hierro en tubérculo oscilan entre 78 y 197 mg kg⁻¹ de materia seca en la variedad Agria y entre 72 y 218 mg kg⁻¹ en la Kennebec, siendo similares a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta. Las elevadas concentraciones de hierro en tubérculo están de acuerdo con elevadas concentraciones en hoja y peciolo así como con elevadas concentraciones de hierro asimilable en el suelo.

La concentración de hierro está afectada significativamente por el año y la variedad, no habiendo interacción entre dichos factores y no estando afectada dicha concentración por las distintas fertilizaciones.

Los tres años de ensayo dan lugar a concentraciones de hierro significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximas en el año 1999.

La concentración de hierro es significativamente ($p < 0,05$) mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria.

Manganeso

Las concentraciones de manganeso en el tubérculo varían entre 1,7 y 43,9 mg kg⁻¹ de materia seca en la variedad Agria y entre 0,8 y 62,2 mg kg⁻¹ en la variedad Kennebec (Tabla 5.168), siendo comparables a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta y muy elevadas en comparación con las concentraciones citadas por Warman y Havard (1998) para la variedad Superior (entre 2,8 y 7,2 mg kg⁻¹) y por Srikumar y Öckerman (1990) para la variedad Provita (entre 4,3 y 6,8 mg kg⁻¹). Esta situación está de acuerdo con las elevadas concentraciones de manganeso en hoja y peciolo.

La concentración de manganeso está afectada significativamente por el año y la variedad, no habiendo interacción entre dichos factores y no estando afectada dicha concentración por las distintas fertilizaciones.

Los tres años de ensayo dan lugar a concentraciones de manganeso significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximas en el año 1999.

La concentración de manganeso, como las de cinc y hierro, es significativamente ($p < 0,05$) mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria.

Azúcares reductores

El porcentaje de azúcares reductores varía entre 0,05 y 0,25% para las dos variedades de estudio (Tabla 5.169).

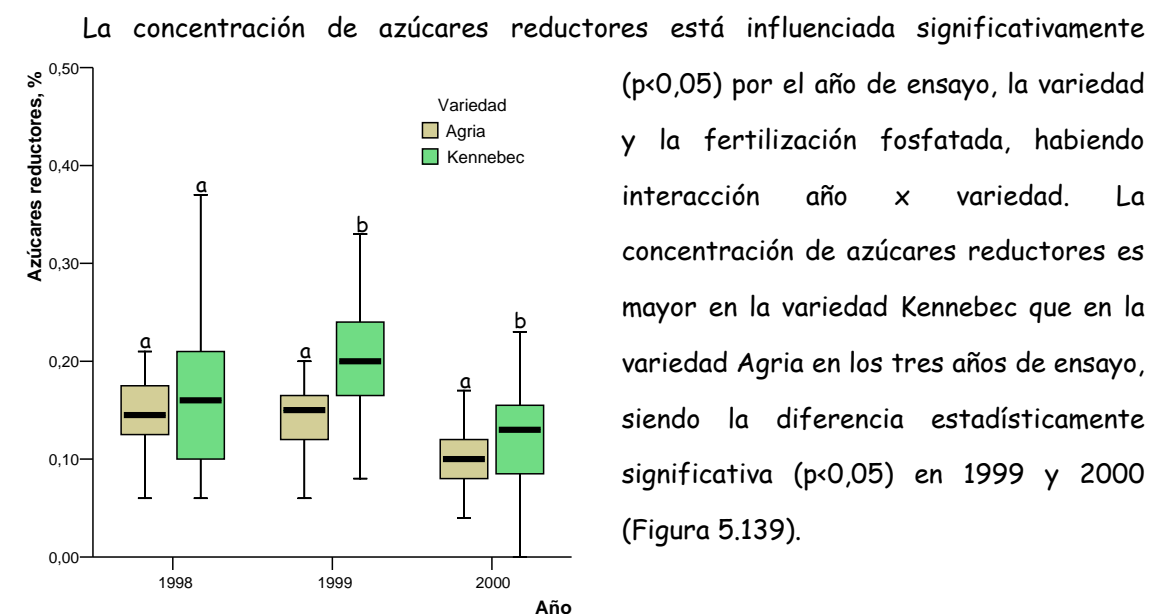


Figura 5.139. Concentración de azúcares reductores para ambas variedades en los tres años de estudio

Tabla 5.169.- Azúcares reductores en tubérculos para los distintos tratamientos y los tres años de estudio (% sobre peso fresco)

Tratamiento	Agria			Kennebec		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000
CONTROL	0,14	0,14	0,12	0,23	0,20	0,12
N1P1K1	0,18	0,11	0,10	0,12	0,20	0,05
N1P1K2	0,13	0,14	0,09	0,22	0,20	0,09
N1P1K3	0,14	0,13	0,05	0,12	0,17	0,08
N1P2K1	0,14	0,10	0,11	0,17	0,22	0,19
N1P2K2	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,13
N1P2K3	0,14	0,12	0,11	0,16	0,19	0,16
N2P1K1	0,17	0,11	0,07	0,16	0,19	0,15
N2P1K2	0,15	0,13	0,12	0,17	0,23	0,10
N2P1K3	0,25	0,14	0,12	0,16	0,16	0,15
N2P2K1	0,13	0,16	0,10	0,15	0,24	0,08
N2P2K2	0,16	0,14	0,06	0,12	0,19	0,11
N2P2K3	0,15	0,17	0,09	0,14	0,20	0,09
N3P1K1	0,11	0,16	0,11	0,14	0,25	0,12
N3P1K2	0,13	0,14	0,06	0,17	0,18	0,09
N3P1K3	0,17	0,15	0,07	0,12	0,19	0,12
N3P2K1	0,20	0,18	0,12	0,23	0,24	0,18
N3P2K2	0,11	0,16	0,13	0,14	0,17	0,14
N3P2K3	0,16	0,15	0,09	0,15	0,21	0,17

El porcentaje de azúcares reductores es mínimo en 2000 en las dos variedades. Esta menor concentración puede atribuirse a las condiciones climáticas más secas en ese año. Similarmente Hamouz *et al.* (2000) presentan menores concentraciones de azúcares reductores en tubérculos de regiones más secas y cálidas.

Las mayores concentraciones de azúcares reductores se obtienen en los tubérculos del tratamiento control (Figura 5.140) y las menores en aquellos cultivados con la menor

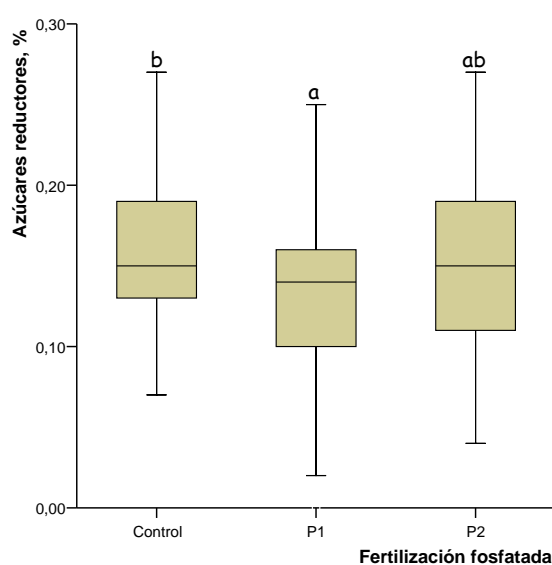


Figura 5.140. Concentración de azúcares reductores en función de la fertilización fosfatada

dosis de fósforo ($100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Los resultados difieren de los de aquellos autores que señalan una disminución de la concentración de azúcares reductores con la fertilización nitrogenada (Dahlenburg *et al.*, 1990; Kolbe *et al.*, 1995a) o potásica (Herlihy y Carroll, 1969; Westermann *et al.*, 1994b) y coinciden sólo parcialmente con la afirmación de Kolbe *et al.* (1995a) de que la concentración de azúcares reductores aumenta con la fertilización fosfatada.

La concentración de azúcares reductores en este estudio fue en todos los tratamientos menor de 0,25% referido a peso fresco, valor recomendado para patatas fritas en barritas (Borruey *et al.*, 2000) y con frecuencia inferior a 0,15%, valor umbral recomendado para patatas fritas en láminas.

Ácidos orgánicos

Las concentraciones de ácido ascórbico y cítrico en tubérculos se determinaron sólo en 1999 y 2000 y para algunos tratamientos.

Ácido ascórbico

Las concentraciones de ácido ascórbico varía entre 55,5 y 123,2 mg kg⁻¹ de peso fresco en la variedad Agria y entre 21,0 y 145,9 mg kg⁻¹ en la variedad Kennebec (Tabla 5.170), siendo similares a las obtenidas en el ensayo de fertilización mixta

Tabla 5.170.- Concentración de ácido ascórbico en tubérculo, mg kg⁻¹, para los distintos tratamientos y los tres años de estudio

Tratamiento	Ácido ascórbico en tubérculo, mg kg ⁻¹			
	Agria		Kennebec	
	1999	2000	1999	2000
CONTROL	104,6	55,5	122,0	27,2
N1P1K1	n.d.	113,7	105,4	26,6
N1P1K2	115,4	76,5	140,6	32,1
N2P2K1	n.d.	92,0	145,9	26,3
N2P2K2	110,4	96,2	111,5	28,7
N3P2K3	123,2	85,7	119,0	21,0

La concentración de ácido ascórbico está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año y por la variedad, habiendo interacción año x variedad, siendo mayores en 1999 que en 2000.

La variedad no afecta a la concentración de ácido ascórbico en 1999, mientras en 2000 esta concentración es significativamente ($p < 0,05$) mayor en la variedad Agria que en la variedad Kennebec

La fertilización no afecta significativamente a la concentración de ácido ascórbico. En contraste con estos resultados, Mondy y Munshi (1993) obtuvieron incrementos significativos de la concentración de ácido ascórbico en las variedades Notario y Pontiac debidos a la fertilización potásica. Kolbe *et al.* (1995a) observaron que la fertilización potásica aumentaba la concentración de ácido ascórbico en ensayos en maceta.

Según Rodríguez-Saona *et al.* (1997), el ácido ascórbico contribuye al oscurecimiento de las patatas fritas en laminas en tubérculos con bajos contenidos de azúcares reductores (<0,06 % de peso fresco). En este estudio la mayoría de los tubérculos tienen contenidos de azúcares reductores superiores a este valor.

Ácido cítrico

La ausencia de agentes complejantes del hierro (ácido cítrico, fosfatos) ha sido señalada como contribuyente a la formación del pigmento oscuro después de la cocción, (Smith, 1958, 1976; Muneta, 1959). Estos agentes compiten con los fenoles por el hierro, por lo tanto cuanto mayor es el contenido de ácido cítrico, menos cantidad de pigmento oscuro se forma (Hughes, 1962) y, por tanto, mejor calidad de patata. Se ha demostrado que, de las sustancias que compiten con el ácido clorogénico por el hierro, el ácido cítrico es con mucho el más efectivo (Gray y Hughes, 1978). Así Hughes y Swain (1962a, b) encuentran en el tejido del núcleo de la patata que la distribución del oscurecimiento después de la cocción está principalmente determinada por las concentraciones relativas de ácido clorogénico y ácido cítrico. Silva *et al.* (1991) en patatas Spartan Peral encontraron una relación inversa entre oscurecimiento después del cocinado y concentración de ácido cítrico.

Como en el ensayo de fertilización mixta, las concentraciones de ácido cítrico son mucho mayores que las de ácido ascórbico, variando entre 1408 y 6864 mg kg⁻¹ de peso fresco en la variedad Agria y entre 1157 y 6959 mg kg⁻¹ en la variedad Kennebec (Tabla 5.171) valores ligeramente más bajos que los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta y similares a los publicados por otros autores (Rovers y Kasprzycka-Guttman, 1992; Silva *et al.*, 1991).

Tabla 5.171.- Concentración de ácido cítrico en tubérculo, mg kg⁻¹, para los distintos tratamientos y dos años de estudio

Tratamiento	Ácido cítrico en tubérculo, mg kg ⁻¹			
	Agria		Kennebec	
	1999	2000	1999	2000
CONTROL	5961	3382	5159	3691
N1P1K1	n.d.	3555	4748	2411
N1P1K2	6864	2512	5303	1157
N2P2K1	6679	3679	6110	2753
N2P2K2	n.d.	1408	5119	1319
N3P2K3	5323	3080	6959	2339

La concentración de ácido cítrico está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año de ensayo, siendo mayores en 1999 que en 2000.

La concentración de ácido cítrico es mayor en la variedad Agria que en la variedad Kennebec en los dos años de estudio, aunque las diferencias no son significativas.

Otros factores de calidad del tubérculo

Pardeamiento enzimático

Los valores de pardeamiento enzimático varían entre 3 y 8 para la variedad Agria y entre 2 y 7 para la variedad Kennebec.

El pardeamiento enzimático fue significativamente ($p < 0,05$) influenciado por el año de estudio, la variedad y fertilización potásica, observándose interacciones entre estos factores.

Los tres años de ensayo dan lugar a valores de pardeamiento enzimático significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximos en el año 2000 en la variedad Agria y máximos en el año 1999 para la variedad Kennebec. En los tres años, el valor medio es 6 para Agria y 4 para Kennebec.

El menor pardeamiento de la variedad Agria es consistente con sus mayores concentraciones de ácidos ascórbico y cítrico. Estos componentes, como agentes

reductores, están involucrados en la prevención de los procesos de oscurecimiento y son usados como inhibidores del pardeamiento para patatas frescas peladas (Sapers y Millar, 1995; Almeida y Nogueira, 1995). Los tubérculos con menor pardeamiento enzimático (6-8) tienen concentraciones de ácido ascórbico relativamente altas (Figura 5.141).

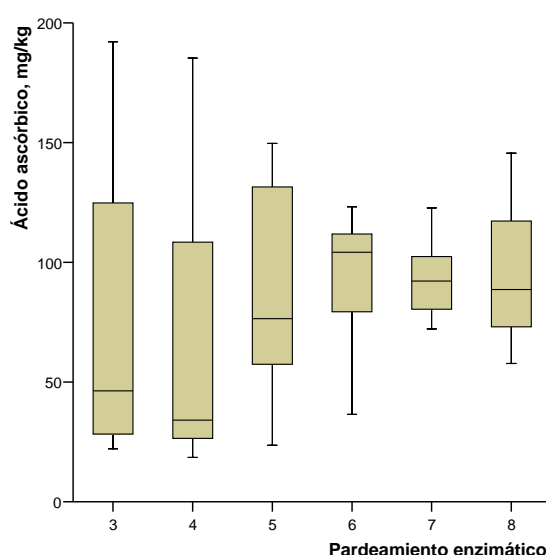


Figura 5.141. Contenidos de ácido ascórbico para las diferentes medidas de pardeamiento enzimático

El pardeamiento desciende al aumentar la dosis de potasio. Similar descenso del pardeamiento enzimático fue observado por otros autores para diferentes variedades de

patata (Mondy *et al.*, 1967; Rino *et al.*, 1972; Baerug y Enge, 1974). Otros autores muestran la falta de influencia de la fertilización nitrogenada en el pardeamiento enzimático (Rinno *et al.*, 1972), de acuerdo con los resultados de este ensayo.

Oscurecimiento después de la cocción (Pardeamiento en cocción)

El pardeamiento en cocción fue significativamente ($p < 0,05$) influenciado por el año de ensayo y la variedad ($p < 0,05$). Este pardeamiento en cocción fue más bajo en la variedad Agria que en la variedad Kennebec. En ambas variedades, los mayores valores se observan en el año 2000. No se encuentra influenciado significativamente ($p < 0,05$) por ninguna de las fertilizaciones minerales.

Calidad del frito

El color de los *crisps* está influenciado ($p < 0,05$) por el año, la variedad y la dosis de potasio aplicado.

Los *crisps* de la variedad Agria presentan un color significativamente más claro que los de la variedad Kennebec (valores medios de 7,0 y 6,5, respectivamente). Estos valores indican una excelente calidad de los *crisps* de Agria y aceptable de los *crisps* de Kennebec. El color más claro de las patatas fritas de la variedad Agria está de acuerdo con las menores concentraciones de azúcares reductores en los tubérculos de esta variedad.

En cuanto al año, en 1998 el color de los *crisps* es más oscuro que en 1999 y 2000.

Mayores dosis de potasio dan lugar a mejor color de *crisps*. Zehler *et al.* (1981) publican un efecto similar de la fertilización potásica.

El porcentaje de *crisps* desechables está influenciado ($p < 0,05$) significativamente por el año, la variedad y la fertilización potásica, habiendo interacción año x variedad y año x fertilización potásica.

El porcentaje de *crisps* desechables es mayor en 1998 en la variedad Kennebec, no estando afectado por el año en la variedad Agria. Este porcentaje fue significativamente ($p < 0,05$) más alto en la variedad Kennebec (23% de valor medio) que en Agria (16% de valor medio) y más bajo para la dosis más alta de potasio.

Lavado

La aptitud para el lavado fue significativamente influenciada por el año y la variedad, habiendo interacción año x variedad. La variedad Agria lavó significativamente ($p < 0,05$)

mejor que la Kennebec (valores de 3,4 y 2,3, respectivamente). La baja aptitud para el lavado está relacionada con la presencia de lesiones y enfermedades. En las dos variedades de estudio el año 1999 fue el más favorable para el lavado, lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta. La aptitud para el lavado no se encuentra influenciada significativamente ($p < 0,05$) por las distintas dosis de fertilización mineral.

Incidencia de enfermedades

Sarna Común

La incidencia de sarna común (*Streptomyces scabies*) fue de un 7% de valor medio, y está significativamente ($p < 0,05$) influenciada por el año de estudio, habiendo interacción año \times fertilización potásica ($p < 0,05$). La incidencia de esta enfermedad fue casi imperceptible en el año 1999, lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta. No se encuentra influenciada significativamente ($p < 0,05$) por ninguna de las dosis de fertilización mineral.

Sarna Plateada

La incidencia de sarna plateada (*Helminthosporium solani*), que se estudió sólo en el año 2000, fue de un 35% como media, y significativamente ($p < 0,05$) más alta en la variedad Kennebec que en la variedad Agria.

Rhizoctonia

La incidencia de Rhizoctonia, que se estudió sólo en el año 2000, fue de un 8% como media, y significativamente ($p < 0,05$) influenciada por la fertilización potásica, siendo más baja con las dosis de potasio más elevadas.

Recuperaciones aparentes de nitrógeno, fósforo y potasio

Recuperación aparente de nitrógeno

Los valores medios y rangos de variación de la recuperación aparente de nitrógeno por los tubérculos se presentan en la Tabla 5.172. La recuperación de nitrógeno es considerablemente más elevada en este ensayo que en el de fertilización mixta, como cabe

esperar de la mayor disponibilidad del nitrógeno en los fertilizantes minerales en comparación con el estiércol de pollo.

Tabla 5.172.- Recuperación aparente de nitrógeno por el tubérculo

Recuperación de nitrógeno (%)			
Variedad	Media	Mínimo	Máximo
Agria	37,3	12,4	68,9
Kennebec	44,0	13,0	78,2

El rango de valores de recuperación aparente de nitrógeno es similar al obtenido por Li *et al.* (2003) en Canadá, que presentan valores entre 29 y 70%. Vos (1997) obtiene valores entre 40 y 100% para la recuperación aparente de nitrógeno por la planta completa (partes aérea y subterránea) en ensayos en Holanda en los que variaba la dosis de nitrógeno aplicada.

La recuperación de N está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, por la variedad y por la fertilización nitrogenada, habiendo interacción año x variedad.

La recuperación aparente de nitrógeno es significativamente mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria.

Estudiando separadamente cada variedad, en ambas la recuperación aparente de N está influenciada significativamente ($p < 0,05$) por el año y por la fertilización nitrogenada,

habiendo en la variedad Agria interacción fertilización nitrogenada x fertilización potásica.

Para la variedad Agria, la recuperación aparente de nitrógeno es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 que en 1999 y 2000. Para la variedad Kennebec, la recuperación aparente de nitrógeno es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 y 1999 que en 2000 (Figura 5.142).

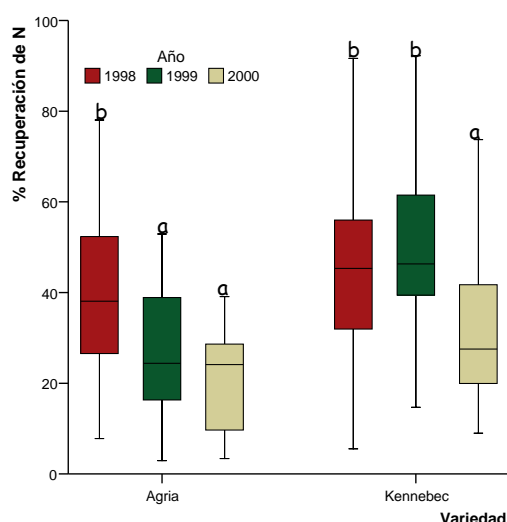
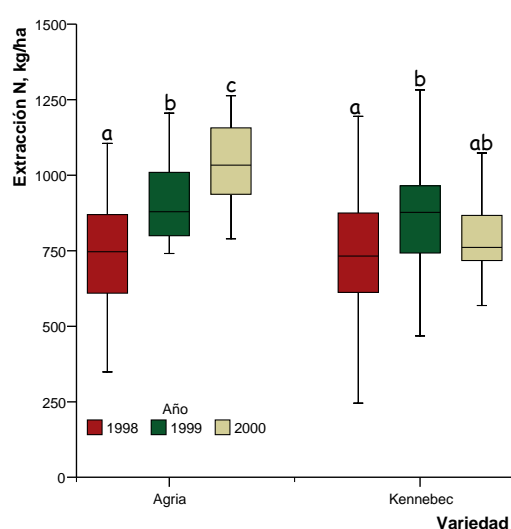


Figura 5.142. Recuperación del N en función de la variedad y del año de ensayo

Resultan en principio sorprendentes las bajas recuperaciones aparentes de nitrógeno en 2000, año en que se obtienen elevados rendimientos de tubérculo y que en el ensayo de fertilización mixta da lugar a las mayores recuperaciones de nitrógeno. Estas bajas recuperaciones aparentes de nitrógeno en 2000 son particularmente notables en la variedad Agria (Figura 5.142). Para la variedad Kennebec, la variación de la recuperación aparente de nitrógeno a lo largo de los tres años de ensayo es similar a la variación de la extracción de nitrógeno por el tubérculo (Figura 5.143), con valores máximos en 1999. Por el contrario, en la variedad Agria las mínimas recuperaciones aparentes de nitrógeno coinciden con las máximas extracciones de este nutriente por el tubérculo. La explicación de esta aparente contradicción radica en los extraordinariamente altos valores de la



extracción de nitrógeno por el tubérculo en las parcelas control en 2000, que alcanza 187 kg N ha⁻¹ en la variedad Agria y 117 kg N ha⁻¹ en la variedad Kennebec (Tabla 5.163). Por tanto, los bajos valores de la recuperación **aparente** de nitrógeno en 2000 no indican un mal aprovechamiento por el cultivo del nitrógeno aplicado, sino un óptimo aprovechamiento del nitrógeno del suelo en las parcelas no fertilizadas.

Figura 5.143. Extracción del N en función de la variedad y del año de ensayo

El porcentaje de recuperación de N es significativamente ($p < 0,05$) menor en las parcelas que recibieron la dosis más alta de fertilización nitrogenada (230 kg N ha⁻¹). Este resultado coincide con los obtenidos en estudios similares, en los que la recuperación aparente de nitrógeno disminuye al aumentar la fertilización nitrogenada (Vos, 1999). Por el contrario, Joern y Vitosh (1995b) encuentran que la recuperación de nitrógeno no está afectada por la dosis de nitrógeno aplicada.

En la variedad Kennebec, la recuperación aparente de nitrógeno es mayor que en el ensayo de fertilización mixta, como cabe esperar de la menor disponibilidad del nitrógeno orgánico.

A diferencia de lo observado en el ensayo de fertilización mixta, no existe correlación significativa entre el rendimiento del cultivo y la recuperación aparente de nitrógeno.

Recuperación aparente de fósforo

Lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta, los valores de recuperación de P son bajos (Tabla 5.173) en relación con los de N y K. Sin embargo, como cabía esperar, en la variedad Kennebec estos valores son mucho más altos en el ensayo de fertilización mineral que en el de fertilización mixta.

Tabla 5.173.- Recuperación aparente de fósforo por el tubérculo

Recuperación aparente del fósforo (%)			
Variedad	Media	Mínimo	Máximo
Agria	18,6	5,6	37,4
Kennebec	20,1	5,8	51,2

La recuperación aparente del P está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, observándose interacciones entre el año y diversas variables y entre la variedad y la fertilización potásica.

La recuperación aparente del fósforo, como la de nitrógeno, es mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria, si bien en este caso las diferencias no son significativas. En cuanto al año, la recuperación aparente de fósforo por la variedad Kennebec es significativamente ($p < 0,05$) mayor en el año 2000 (lo mismo que en el ensayo de fertilización mixta), mientras en la variedad Agria no se observa una influencia significativa del año de ensayo.

Dadas las interacciones observadas, se estudiará la influencia de la fertilización separadamente para cada variedad y año de ensayo.

En la variedad Agria influye la fertilización nitrogenada en el año 2000 y la fertilización potásica en 1998, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor la recuperación de P con las dosis N3 y K1.

En la variedad Kennebec, la recuperación aparente del P está influenciada significativamente por la fertilización nitrogenada en 1998 y 2000 siendo mayor la recuperación en las dosis N2 y N3, respectivamente. La fertilización fosfatada influye significativamente en la recuperación aparente del P en los tres años, siendo mayor en la

dosis P1. La fertilización potásica influye en los años 1999 y 2000, siendo mayor la recuperación aparente del P en las dosis K3 y K2, respectivamente. Una vez más se ponen de manifiesto interacciones entre los elementos nutritivos.

El rendimiento de la cosecha presenta una correlación significativa ($p < 0.01$) aunque débil ($r^2 = 0,195$) con la recuperación aparente del fósforo (Figura 5.144).

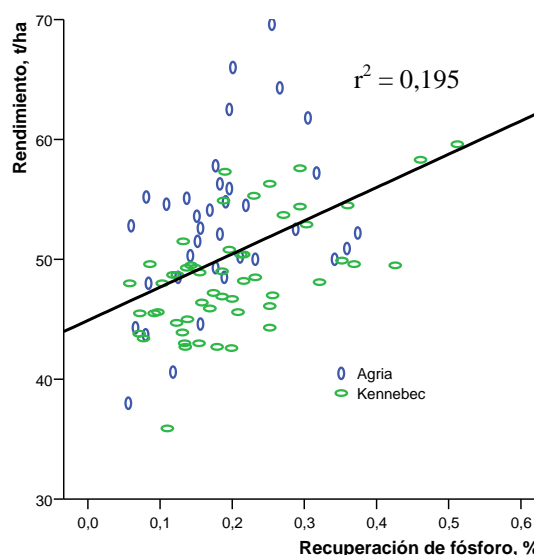


Figura 5.144. Relación entre la recuperación de P, % y el rendimiento para los tres años de estudio y para las dos variedades

Recuperación aparente del potasio

Los valores del porcentaje de recuperación del K se muestran en la Tabla 5.174.

Tabla 5.174.- Recuperación aparente del potasio por el tubérculo

Recuperación aparente del potasio (%)			
Variedad	Media	Mínimo	Máximo
Agria	29,6	1,8	70,5
Kennebec	25,1	1,8	61,3

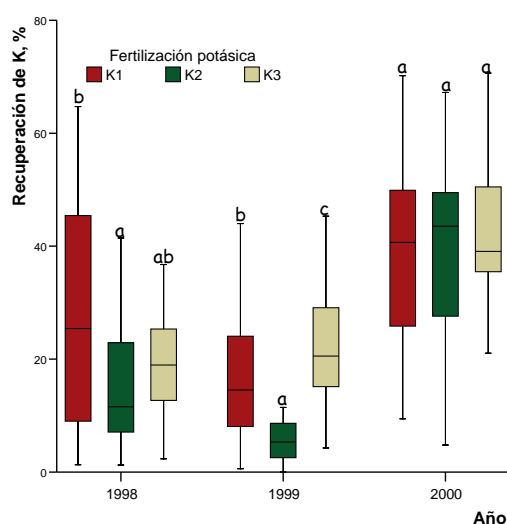
Como en los casos de nitrógeno y fósforo, las recuperaciones aparentes de potasio son mayores que en el ensayo de fertilización mixta.

La recuperación de K está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la variedad y la fertilización potásica, habiendo interacción año x variedad y año x fertilización potásica.

La recuperación de potasio, al contrario que la de nitrógeno, es mayor en la variedad Agria que en la Kennebec, si bien las diferencias no son significativas.

Los tres años de ensayo dan lugar a porcentajes de recuperación de K significativamente diferentes ($p < 0,05$), siendo máximos para ambas variedades en 2000. Esta mayor recuperación de potasio en 2000 puede relacionarse con el elevado rendimiento de la cosecha en este año y la consiguiente mayor absorción de nutrientes, en particular potasio.

En los tres años de ensayo las mayores recuperaciones aparentes de potasio (Figura 5.145) corresponden a la dosis más baja de fertilización potásica ($150 \text{ kg K}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Sin embargo, las menores recuperaciones aparentes (Figura 5.145) no corresponden, como cabría esperar, a la dosis más alta de fertilización potásica, sino a la intermedia ($300 \text{ kg K}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$; excepto en 2000, en que no hay diferencias significativas entre dosis de fertilización potásica). Este resultado anómalo se explica de nuevo por el hecho de que, en



el cálculo de la recuperación aparente, se resta de la extracción de potasio por el tubérculo, en un tratamiento determinado, la extracción en el tratamiento control. Las extracciones en el tratamiento control son muy elevadas, casi siempre superiores a la dosis más baja de potasio ($150 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$), lo que da lugar a valores anormalmente bajos de las recuperaciones aparentes de potasio en los tratamientos menos fertilizados.

Figura 5.145. Recuperación del K en función del año y de la fertilización potásica

El rendimiento de la cosecha presenta una correlación significativa ($p < 0,01$) moderada ($r^2 = 0,315$) con la recuperación aparente de potasio (Figura 5.146).

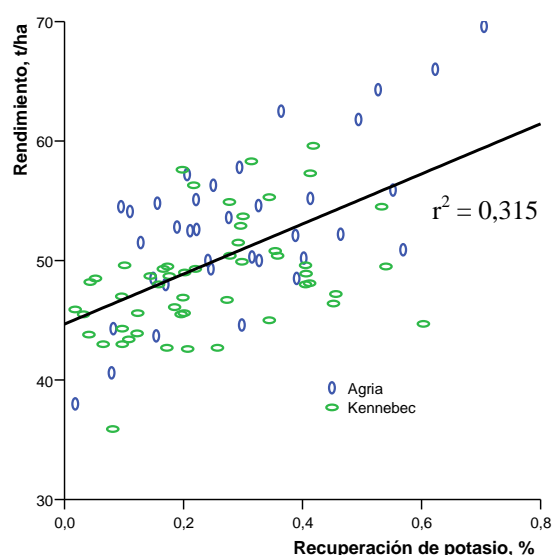


Figura 5.146. Relación entre la recuperación de K, % y el rendimiento, t/ha para los tres años de estudio y para las dos variedades

Eficiencia del nitrógeno

La eficiencia del N (E_N), definida como el incremento de producción por unidad fertilizante aplicada, se calculó para cada tratamiento como: $(\text{Rendimiento tratamiento} - \text{Rendimiento control}) / N_{ap}$ donde N_{ap} es el nitrógeno aplicado como fertilizante. Los valores de la eficiencia de N se muestran en la Tabla 5.175.

Tabla 5.175.- Eficiencia de nitrógeno

Variedad	Eficiencia del nitrógeno, $\text{kg kg}^{-1} \text{ N}$		
	Media	Mínimo	Máximo
Agria	81,7	6,0	193,0
Kennebec	86,5	14,5	172,4

Los valores son superiores a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta, como corresponde a la mayor disponibilidad del nitrógeno mineral.

La eficiencia del N está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fertilización nitrogenada y la fertilización potásica, observándose interacciones entre el año y diversas variables y entre la variedad y la fertilización potásica.

La eficiencia del nitrógeno es mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria aunque no significativamente ($p < 0,05$). En cuanto al año, la eficiencia del nitrógeno es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 y 2000 que en 1999.

La eficiencia del nitrógeno disminuye significativamente a medida que aumenta la fertilización nitrogenada (Figura 5.147).

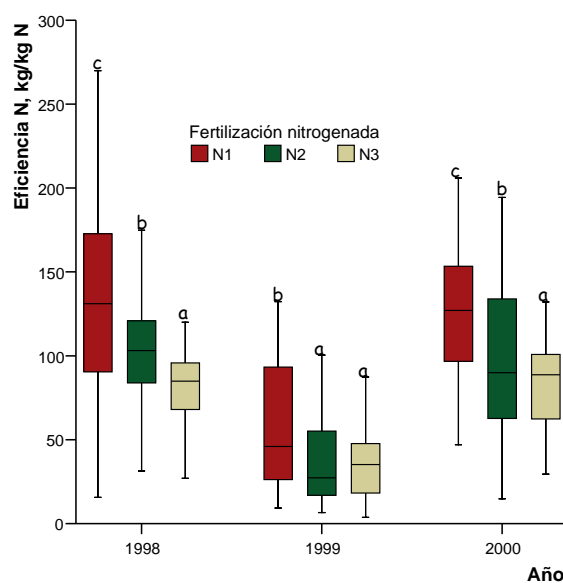


Figura 5.147. Relación de la eficiencia del N con la fertilización nitrogenada en los tres años de estudio

La fertilización potásica mejora la eficiencia del nitrógeno en la variedad Kennebec en los tres años de ensayo y en la variedad Agria únicamente en 2000, el año de mayor producción (Figura 5.148).

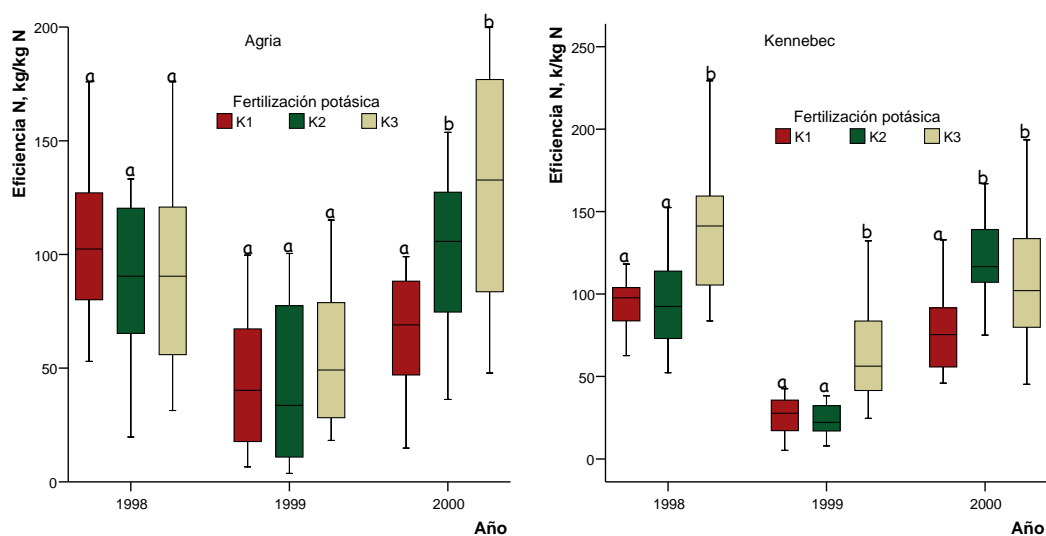


Figura 5.148. Relación entre la eficiencia de N con la fertilización potásica en los tres años de estudio para las dos variedades

Eficiencia del fósforo

Similarmente a la eficiencia del nitrógeno, se calculó la eficiencia del fósforo (E_p) para cada tratamiento como: $(\text{Rendimiento tratamiento} - \text{Rendimiento control}) / P_{ap}$ donde P_{ap} es el fósforo aplicado como fertilizante. Los valores de la eficiencia de P se muestran en la Tabla 5.176.

Tabla 5.176 .- Eficiencia de fósforo

Eficiencia del fósforo, kg kg ⁻¹ P			
Variedad	Media	Mínimo	Máximo
Agria	232,5	15,7	553,9
Kennebec	256,6	30,4	648,9

Los valores son muy superiores a los obtenidos en el ensayo de fertilización mixta, lo que indica la mayor disponibilidad del fósforo inorgánico en comparación con el orgánico.

La eficiencia del P está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la variedad, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, observándose interacciones entre el año y diversas variables y entre la variedad y diversas variables.

La eficiencia de fósforo, es significativamente ($p < 0,05$) mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria. En cuanto al año, la eficiencia de fósforo es significativamente ($p < 0,05$) mayor en 1998 y 2000 que en 1999, en ambas variedades.

Dadas las interacciones observadas, se estudiará la influencia de la fertilización separadamente para cada variedad y año de ensayo.

La eficiencia del P está afectada por la fertilización fosfatada para las dos variedades en los tres años de ensayo (Figura 5.149), siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor para la dosis menor (100 kg P₂O₅ ha⁻¹).

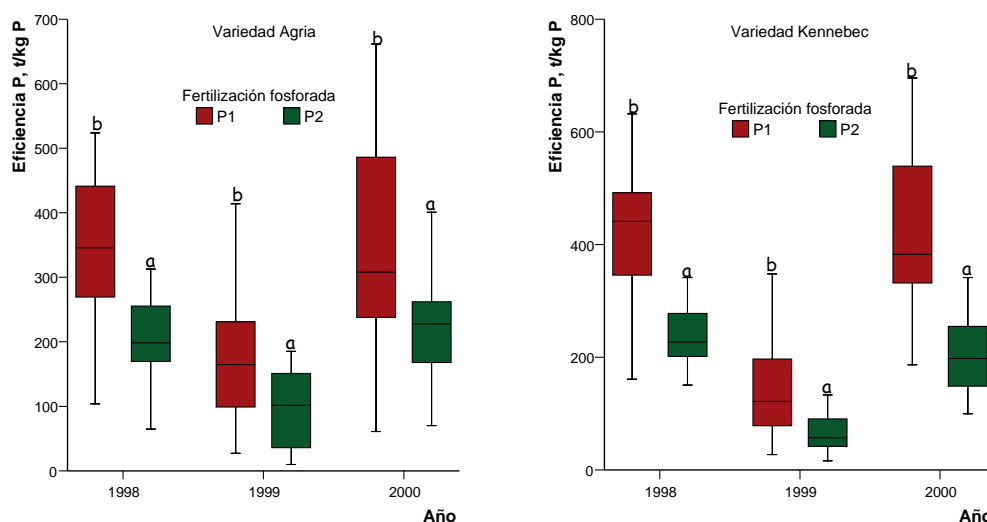


Figura 5.149. Relación entre la eficiencia del P y la fertilización fosfatada para los tres años de estudio y las dos variedades

La eficiencia del P está afectada por la fertilización nitrogenada para las variedades Agria y Kennebec en 1998, siendo significativamente ($p<0,05$) mayor para las dosis N2 y N3, respectivamente.

La eficiencia del P está afectada por la fertilización potásica para la variedad Agria en los tres años, siendo significativamente ($p<0,05$) mayor para las dosis K1, K2 y K3, respectivamente; y para la variedad Kennebec en los tres años, siendo significativamente ($p<0,05$) mayor para las dosis K3 en 1998 y 1999 y K2 y K3 en 2000 (Figura 5.150).

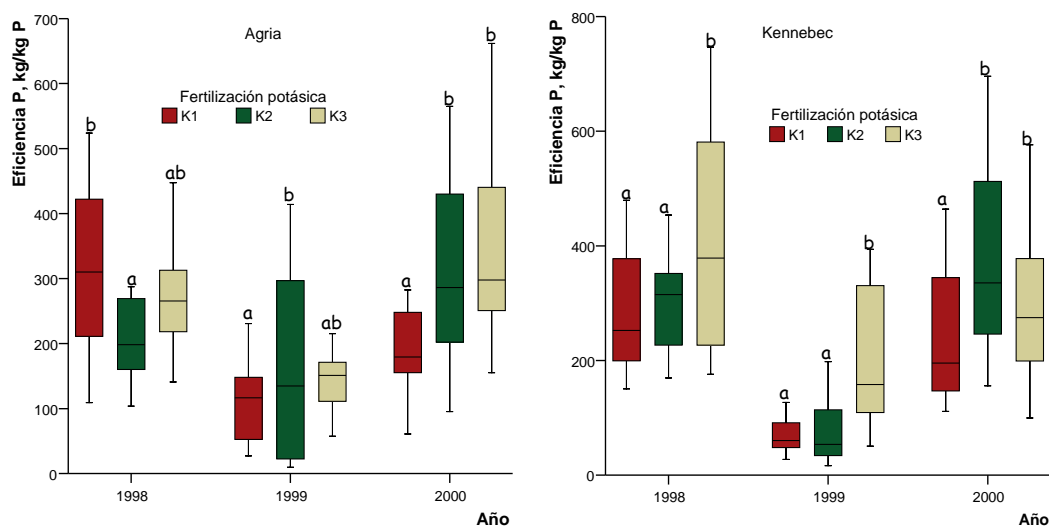


Figura 5.150. Relación entre la eficiencia del P y la fertilización potásica para los tres años de estudio y las dos variedades

Eficiencia del potasio

De modo similar al nitrógeno y al fósforo, se calculó la eficiencia del potasio (E_K) para cada tratamiento como: $(\text{Rendimiento tratamiento} - \text{Rendimiento control}) / K_{ap}$ donde K_{ap} es el potasio aplicado como fertilizante. Los valores de la eficiencia del K se muestran en la Tabla 5.177.

Tabla 5.177.- Eficiencia del potasio

Eficiencia del potasio, , $\text{kg kg}^{-1} \text{K}$			
Variedad	Media	Mínimo	Máximo
Agria	65,7	5,5	186,7
Kennebec	67,8	10,2	188,9

También para este elemento la eficiencia es mayor en el ensayo de fertilización mineral que en el de fertilización mixta.

La eficiencia del K está afectada significativamente ($p < 0,05$) por el año, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y la fertilización potásica, observándose interacciones entre el año y diversas variables y entre la variedad y diversas variables.

La eficiencia de potasio, es ligeramente mayor en la variedad Kennebec que en la variedad Agria, sin que las diferencias sean significativas ($p < 0,05$). En cuanto al año, la eficiencia del potasio varía significativamente ($p < 0,05$) en el orden 1998 > 2000 > 1999, en ambas variedades.

Dadas las interacciones observadas, se estudiará la influencia de la fertilización separadamente para cada variedad y año de ensayo.

La eficiencia de K está afectada significativamente ($p < 0,05$) por la fertilización potásica para las variedades Agria y Kennebec en los tres años, disminuyendo en general al aumentar la dosis de fertilización (Figura 5.151).

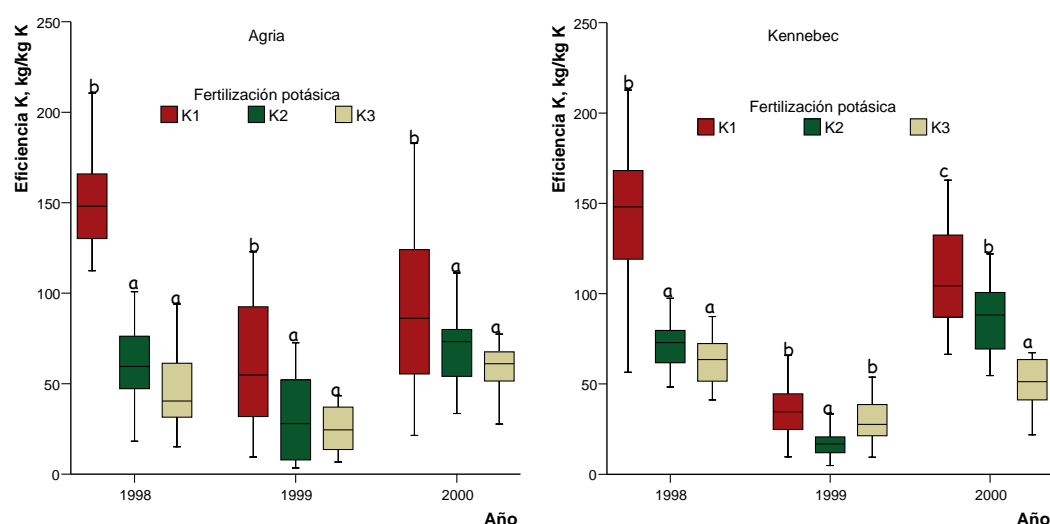


Figura 5.151. Relación entre la eficiencia del K y la fertilización potásica para los tres años de estudio y las dos variedades

Las fertilizaciones nitrogenada y fosfatada afectan a las dos variedades de diferentes formas en los tres años de ensayo. La eficiencia del K no está afectada por la fertilización nitrogenada para la variedad Agria. En la variedad Kennebec, la eficiencia de K está influenciada en los años 1998 y 2000, siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor para la dosis N3 (Figura 5.152). Así como la fertilización potásica mejora la eficiencia del nitrógeno, la fertilización nitrogenada mejora la eficiencia del potasio.

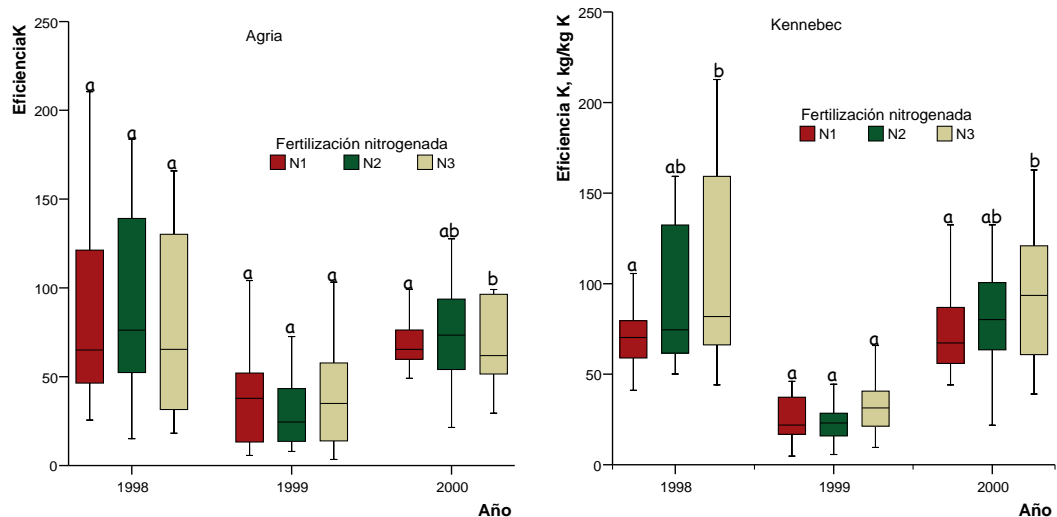


Figura 5.152. Relación entre la eficiencia del K y la fertilización nitrogenada para los tres años de estudio y las dos variedades

La eficiencia del K está afectada por la fertilización fosfatada para variedad Agria en 2000 siendo significativamente ($p < 0,05$) mayor para la dosis P2. La eficiencia de K en la variedad Kennebec no está influenciada por la fertilización fosfatada en ninguno de los años de estudio.

5.4. EFECTOS AMBIENTALES DE LA FERTILIZACIÓN. ANÁLISIS DE AGUAS FREÁTICAS Y SUPERFICIALES

Los datos analíticos se resumen en la Tabla 5.178, que presenta para cada fecha de muestreo, los valores medios y desviaciones estándar de los parámetros analizados en aguas freáticas y superficiales. Se discute a continuación cada uno de los parámetros.

Tabla 5.178. Datos analíticos de las aguas freáticas y superficiales estudiadas en las distintas fechas de muestreo (valores medios y desviaciones estándar)

Fecha	pH	Conduct. $\mu S\ cm^{-1}$	NH ₄ , mg N L ⁻¹	NO ₃ , mg N L ⁻¹	PO ₄ , mg P L ⁻¹	K, mg L ⁻¹	MO. meq MO L ⁻¹
Aguas freáticas							
19-09-01	6,7 ± 1,1	233 ± 109	0,50 ± 0,20	1,70 ± 1,59	0,37 ± 0,17	4,40 ± 5,00	0,67 ± 0,40
23-10-01	6,7 ± 1,1	269 ± 179	0,70 ± 0,32	3,08 ± 4,25	0,27 ± 0,23	6,20 ± 6,56	0,80 ± 0,44
05-03-02	6,5 ± 0,5	248 ± 148	0,37 ± 0,43	3,80 ± 5,43	0,08 ± 0,23	7,30 ± 7,94	0,77 ± 0,56
22-04-02	6,7 ± 0,9	208 ± 139	0,30 ± 0,30	6,20 ± 5,69	0,00 ± 0,14	7,80 ± 8,66	0,81 ± 0,39
30-05-02	6,6 ± 1,0	202 ± 144	0,20 ± 0,22	5,00 ± 4,43	0,00 ± 0,12	6,10 ± 3,96	0,89 ± 0,45
22-07-02	6,6 ± 0,8	205 ± 124	0,70 ± 0,35	8,30 ± 5,34	0,00 ± 0,21	6,60 ± 3,90	0,98 ± 0,63
Aguas superficiales							
19-09-01	6,7 ± 0,5	151 ± 97	0,40 ± 0,34	0,50 ± 0,65	0,32 ± 1,37	4,20 ± 6,54	0,96 ± 0,65
23-10-01	6,8 ± 0,2	125 ± 44	0,47 ± 0,31	1,00 ± 1,94	0,32 ± 0,24	4,00 ± 2,74	1,23 ± 0,39
05-03-02	6,8 ± 0,3	92 ± 30	0,31 ± 0,25	0,88 ± 1,56	0,05 ± 0,05	3,40 ± 1,71	0,72 ± 0,22
22-04-02	6,9 ± 0,5	99 ± 78	0,24 ± 0,12	1,16 ± 1,83	0,00 ± 0,07	3,30 ± 2,09	1,04 ± 0,67
30-05-02	6,7 ± 0,3	67 ± 32	0,16 ± 0,11	0,61 ± 1,14	0,03 ± 0,08	2,0 ± 2,15	1,08 ± 0,36
22-07-02	6,7 ± 0,3	107 ± 42	0,54 ± 1,93	1,44 ± 1,35	0,01 ± 0,34	3,10 ± 2,79	1,22 ± 0,86

pH

Los valores de pH varían entre 4,91 y 10,57 en aguas freáticas y entre 5,90 y 8,82 en aguas superficiales. El tipo de muestra (freática y superficial) influye significativamente

($p < 0,05$) en los valores de pH, que son más altos en aguas superficiales que en aguas freáticas (Figura 5.153).

Valores más altos de pH en aguas superficiales fueron encontrados también por nuestro grupo de investigación (datos no publicados) en la cuenca del río Magdalena (A Pastoriza, Lugo).

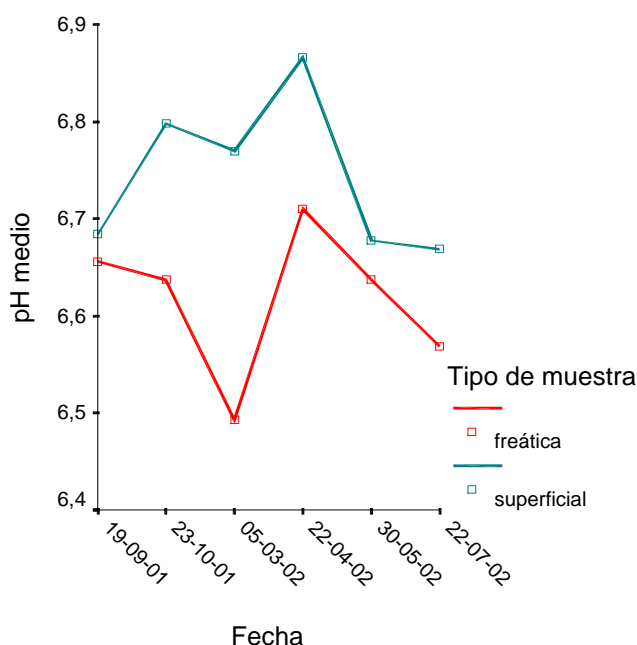


Figura 5.153. Variación estacional de los valores medios del pH en aguas freáticas y superficiales

Por el contrario, la fecha no ejerce una influencia significativa sobre estos valores, dado el elevado grado de dispersión de los mismos (Figura 5.154), si bien se alcanzan valores máximos en abril y mínimos relativos en marzo y julio (Figura 5).

Solamente una muestra de agua freática, en el muestreo de 19/09/2001, supera el valor máximo de 9,5 establecido para aguas potables por el RD 140/2003.

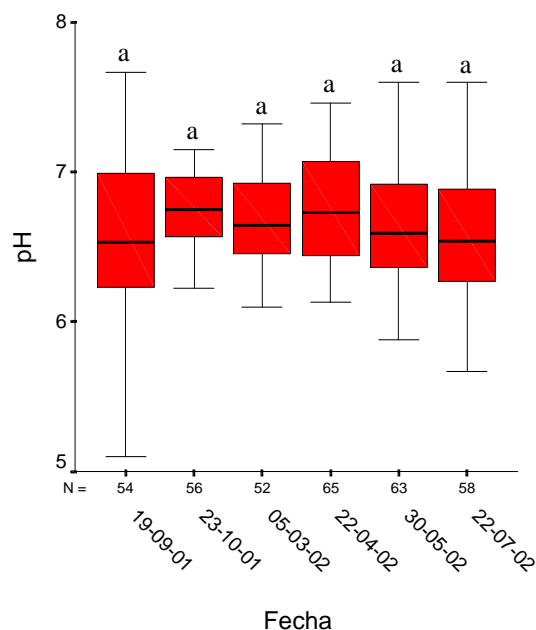


Figura 5.154. Valores de pH en aguas freáticas y superficiales

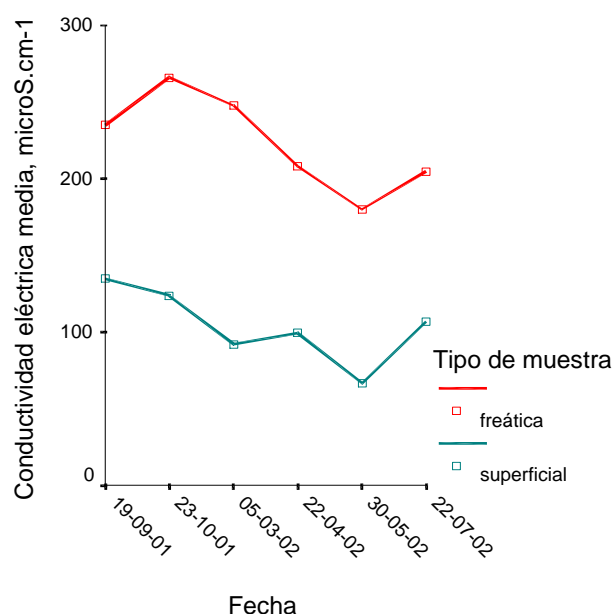
Por el contrario, con cierta frecuencia se alcanzan valores de pH inferiores al valor de 6,5 establecido por este mismo Real Decreto. La existencia de valores de pH ligera o moderadamente ácidos es bastante común en aguas naturales de Galicia, sin que ello suponga un detrimento de su calidad (Álvarez *et al.*, 1989).

En cuanto a la variación geográfica, en las muestras freáticas se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) de la muestra 21 con el resto de las muestras, siendo esta muestra la de mayor pH (valor medio de 9,8).

En cuanto a las muestras superficiales, se encuentran diferencias significativas ($p < 0,05$) de la muestra 61 (canal secundario) con el resto de las muestras, siendo ésta la de mayor pH (valor medio 7,6).

Conductividad eléctrica

El valor de la conductividad eléctrica proporciona una orientación sobre la concentración de iones en una disolución. Los valores de conductividad eléctrica varían



entre 0,039 y 0,906 dS m⁻¹ en aguas freáticas y entre 0,237 y 0,566 dS m⁻¹ en aguas superficiales. Tanto el tipo de muestra (freática o superficial) como la fecha de muestreo influyen significativamente ($p < 0,05$) en los valores de la conductividad, que son más altos en aguas freáticas (Figura 5.155).

Figura 5.155. Variación estacional de los valores medios de C.E. en aguas freáticas y superficiales

Los valores de la conductividad eléctrica en aguas freáticas duplican aproximadamente los de las aguas superficiales. Estos valores son similares a otros publicados para aguas de Galicia, que presentan generalmente conductividades bajas en comparación con las aguas de otras zonas de España. Un trabajo de Vidal *et al.* (1998)

presenta unos valores de conductividad en muestras de aguas freáticas (pozos) y aguas superficiales (ríos) que varían entre 0,095 y 0,250 dS m⁻¹. Otro estudio de López Mosquera *et al.* (2000) obtiene valores de CE que varían entre 0,029 y 0,460 dS m⁻¹ en aguas freáticas y superficiales de Terra Chá.

Álvarez *et al.* (1989), en un estudio en la cuenca del río Umia, encuentran unos valores medios de conductividad comprendidos entre 0,013 y 5,50 dS m⁻¹. Macías *et al.* (1991), en un estudio de los impactos de origen agrario y urbano en la cuenca del río Ulla, encuentran que una muestra de referencia sin impactos puntuales significativos presenta una conductividad de 0,058 dS m⁻¹. Antelo y Arce (1996) indican que la conductividad de las aguas superficiales de los ríos de Galicia varía dentro de un estrecho margen, comprendido entre 0,050 y 0,200 dS m⁻¹. La mayoría de las aguas superficiales analizadas en este trabajo presentan valores de la conductividad comprendidos dentro de este rango.

Estos valores son bajos en relación con la situación general en España (López Vera, 1990).

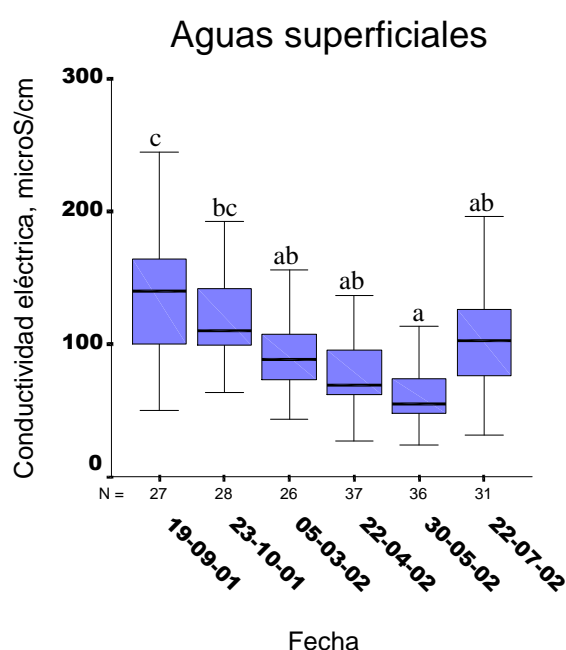


Figura 5.156. Valores de conductividad eléctrica, $\mu\text{S cm}^{-1}$ para aguas superficiales

En cuanto a la variación estacional, presenta tendencias muy similares en aguas freáticas y superficiales (Figura 5.155). Sin embargo, se observa que en las aguas freáticas no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las distintas fechas, mientras en aguas superficiales el muestreo 30-05-02 presenta valores significativamente menores que los muestreos del 19-09-01 y del 23-10-01 (Figura 5.156).

Esta variación estacional es paralela a la que se observa para amonio, fosfato y potasio en estas aguas, como se verá más adelante.

En aguas superficiales, las mayores variaciones estacionales de conductividad se producen en general en muestras de cursos de agua pequeños, situados en zonas de

actividad agrícola intensa, con fuerte fertilización (muestras 9, 41, 48, 61, 62 y 63). También se observa una acusada variación estacional en la muestra 54, situada en el río Limia después del núcleo urbano de Xinzo, que presenta en los muestreos de septiembre y julio concentraciones muy elevadas de amonio y de fosfato.

Sólo una muestra de agua superficial, en el muestreo de 19/09/2001, y un número reducido de muestras de aguas freáticas, en diversas fechas, superan el valor de 0,400 dS m⁻¹ considerado por el IGME (1985) como orientación de calidad (Figura 5.157). En ningún caso se alcanzan valores próximos al límite de 2,5 dS m⁻¹ establecido como máximo para aguas potables en el RD 140/2003. Se trata, por tanto, de aguas excelentes para el riego en lo que se refiere a su contenido de sales disueltas.

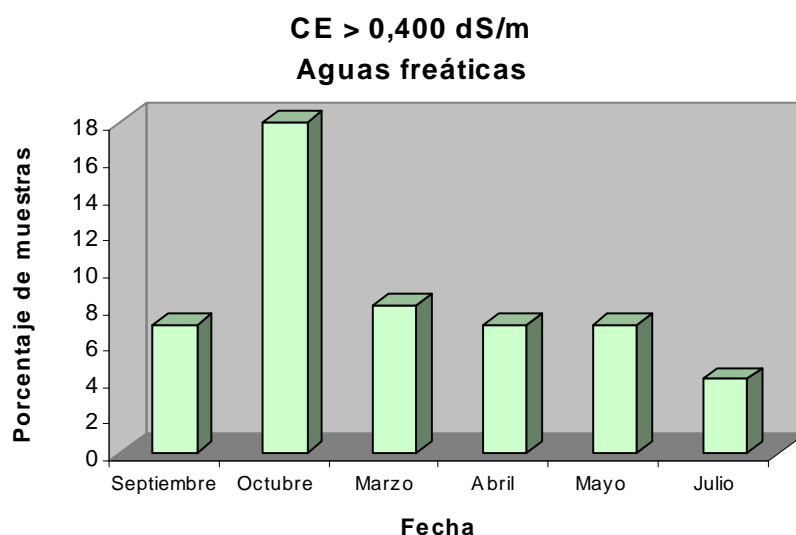


Figura 5.157. Frecuencia con que la CE de las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de 0,400 dS m⁻¹

En cuanto a la variación geográfica, en aguas freáticas existe una gran variabilidad sin una tendencia definida, presentando la máxima conductividad la muestra 55 (0,756 dS m⁻¹). En aguas superficiales no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos puntos de muestreo.

Materia orgánica

Las concentraciones de materia orgánica oxidable con permanganato varían entre 0,16 y 2,83 meq MO L⁻¹ en aguas freáticas y entre 0,44 y 5,47 meq MO L⁻¹ en aguas

superficiales, y están influidas significativamente ($p < 0,05$) por el tipo de agua (freática o superficial) y la fecha de muestreo, existiendo interacción entre estos dos factores.

En general, las concentraciones de materia orgánica son más elevadas en aguas superficiales (Figura 5.158).

El valor de $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ($0,625 \text{ meq L}^{-1}$), establecido por la legislación española (RD 140/2003) como valor máximo para aguas de consumo humano, es alcanzado o superado frecuentemente por las aguas freáticas y aún con mayor frecuencia por aguas superficiales (Figuras 5.159 y 5.160).

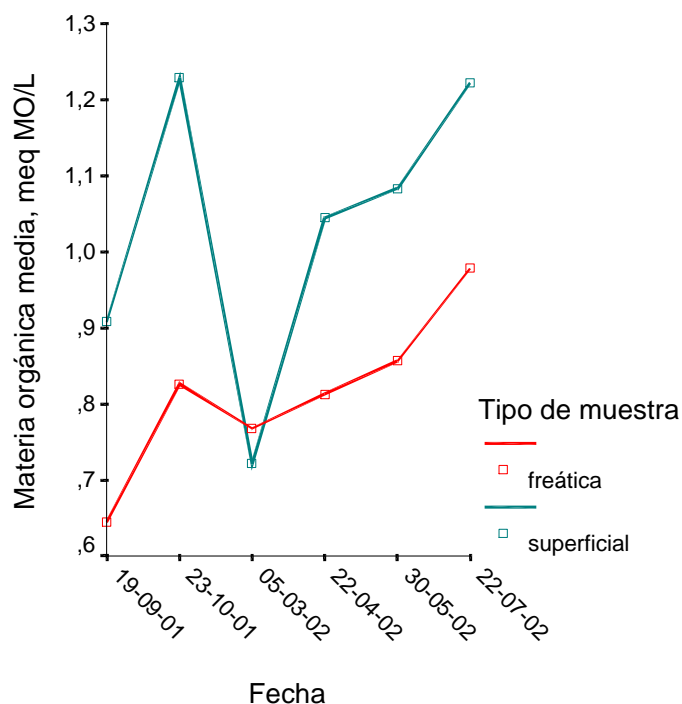


Figura 5.158. Variación estacional de los valores medios de materia orgánica en aguas freáticas y superficiales

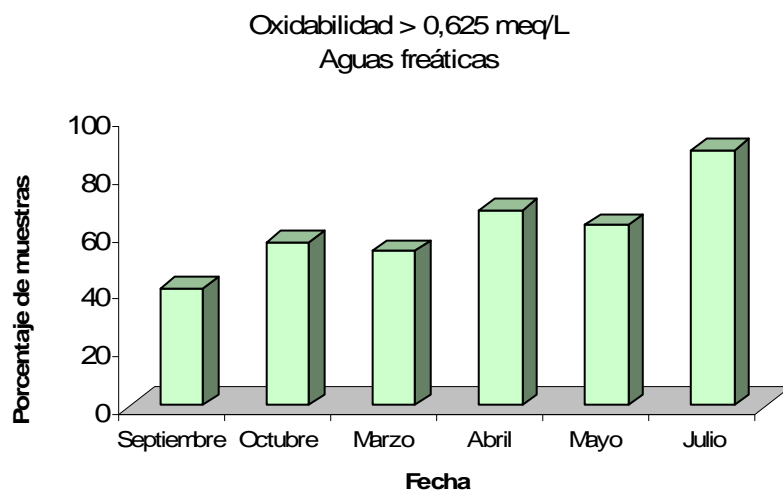


Figura 5.159. Frecuencia con que la oxidabilidad de las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de $0,625 \text{ meq L}^{-1}$ ($5 \text{ meq O}_2 \text{ L}^{-1}$)

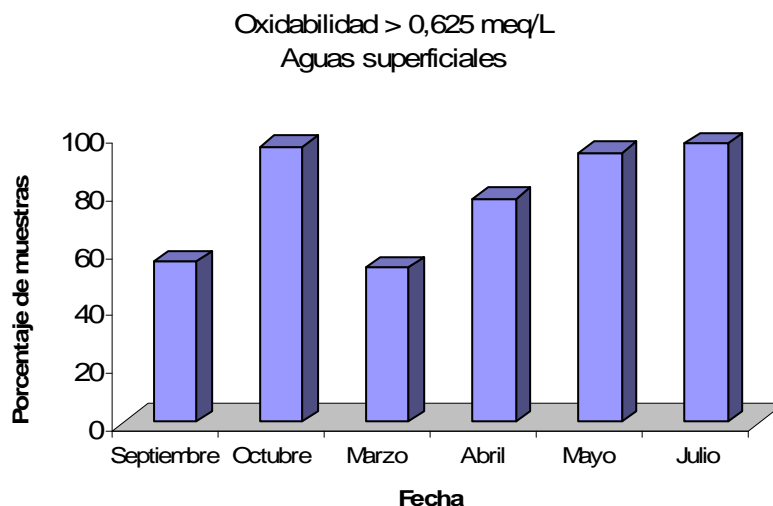
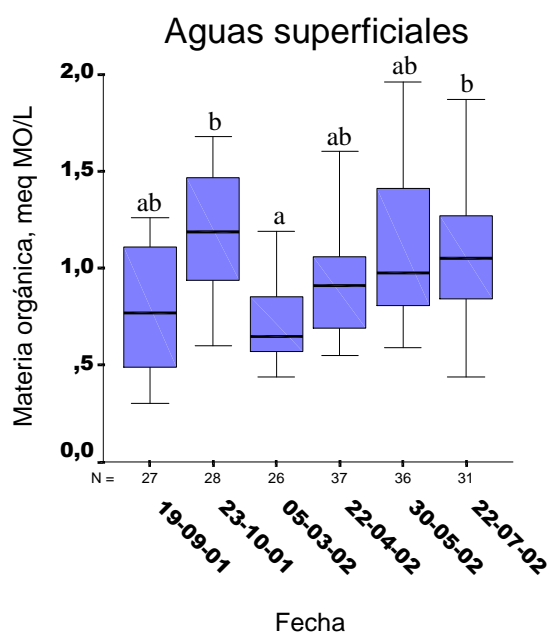


Figura 5.160. Frecuencia con que la oxidabilidad de las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 0,625 meq L⁻¹ (5 meq O₂ L⁻¹)



En cuanto a la variación estacional, en aguas freáticas no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) lo que se puede interpretar como resultado de que éstas están menos sujetas a cambios. Por el contrario, en las aguas superficiales existen diferencias significativas entre el muestreo de marzo y los muestreos de octubre y julio, siendo menores las concentraciones de materia orgánica en el muestreo de marzo (Figura 5.161).

Figura 5.161. Valores de materia orgánica, meq MO L⁻¹ en aguas superficiales

Las bajas concentraciones en el mes de marzo pueden relacionarse con un aumento de la actividad biológica en primavera, que conduciría a una mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, la aplicación en esta época de abonado orgánico y la movilización por la lluvia de compuestos solubles de estos abonos conducirán a un aumento de la materia orgánica en aguas superficiales en los muestreos siguientes. El pico de concentración

producido en octubre se relaciona con las fuertes lluvias producidas este mes, después de una época relativamente seca.

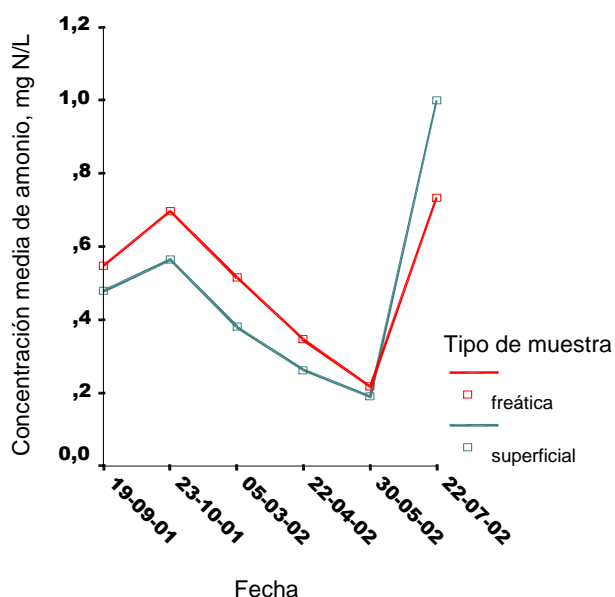
En cuanto a la variación geográfica, en aguas freáticas hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la muestra 4 (con mayor valor medio, de $1,79 \text{ meq MO L}^{-1}$) y el resto de las muestras.

En aguas superficiales, el mayor valor medio ($2,81 \text{ meq MO L}^{-1}$) corresponde a una muestra del canal secundario (muestra 63), que se diferencia significativamente de la mayoría de las muestras restantes. Un número reducido de muestras (15, 28, 48, 61, 62) presentan valores intermedios, que no se diferencian significativamente de la muestra 63 ni de las restantes muestras.

Macronutrientes

Amonio

Las concentraciones de amonio varían entre $0,00$ y $1,8 \text{ mg N L}^{-1}$ en aguas freáticas y entre $0,01$ y $8,31 \text{ mg N L}^{-1}$ en aguas superficiales. Las concentraciones son generalmente más altas en las aguas freáticas que en las superficiales, si bien las diferencias entre



ambos tipos de aguas no son significativas a un nivel $p < 0,05$ (Figura 5.162). Esta elevada concentración de amonio en las aguas freáticas puede reflejar, por una parte, una baja capacidad de los suelos para retener el amonio, relacionada con su baja capacidad de cambio, y, por otra, unas condiciones desfavorables para la nitrificación en las aguas subterráneas.

Figura 5.162. Variación estacional de los valores medios de la concentración de amonio en aguas freáticas y superficiales.

La fecha de muestreo ejerce una influencia significativa sobre la concentración de amonio. Tanto en aguas freáticas como superficiales esta concentración alcanza valores máximos en los muestreos de octubre y julio (Figura 5.163a y 5.163b). La variación estacional sigue la misma pauta en los dos tipos de agua.

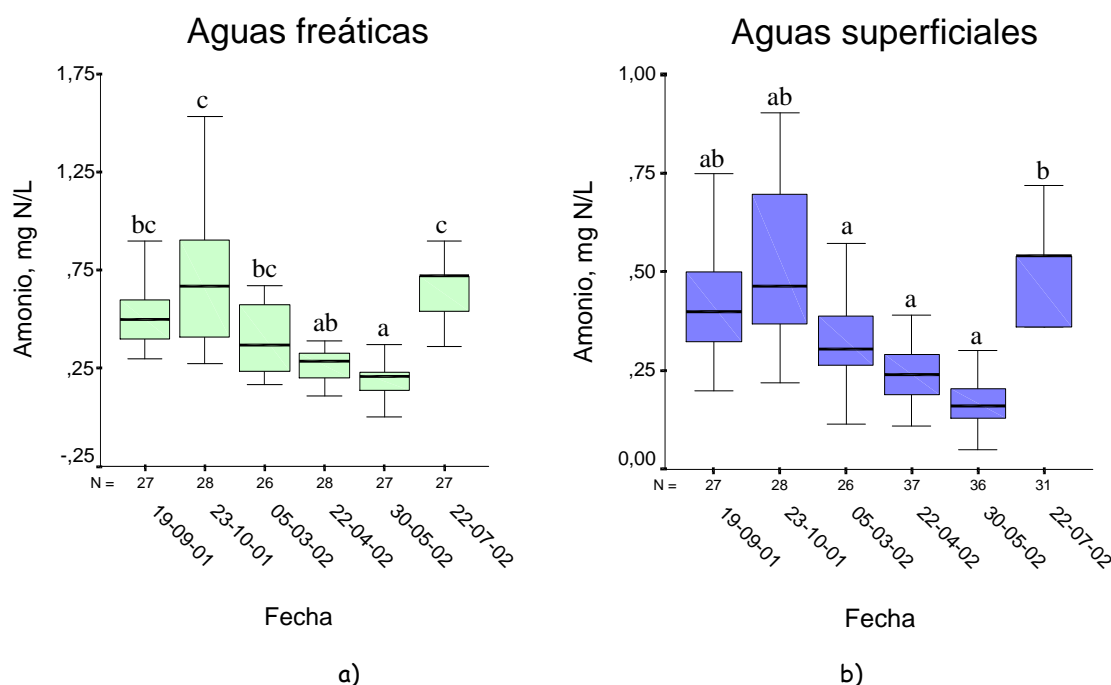


Figura 5.163. Concentración de amonio, mg N L⁻¹, en aguas freáticas (a) y en aguas superficiales (b)

El muestreo de octubre se realiza cuando se ha fertilizado el trigo de invierno y las demandas de nutrientes por parte de los cultivos son bajas. Las fuertes lluvias producidas hasta ese momento favorecen la movilidad de los nutrientes de los campos de cultivo. Antes del muestreo de julio algunas fincas son fertilizadas con nitrato amónico (mediados de junio); pero las elevadas concentraciones de amonio en julio y septiembre se relacionan predominantemente con el estiaje.

Un estudio de Mosquera *et al.* (2000) encuentra valores de NH₄⁺ entre 0,00 y 2,06 mg N L⁻¹ en muestras de aguas freáticas y superficiales de Terra Chá. Otro estudio de Vidal *et al.* (1998) encuentra valores entre 0,00 y 0,51 mg N L⁻¹ en muestras de aguas de ríos y pozos de la provincia de Lugo. Los valores obtenidos en el presente estudio para aguas superficiales superan en algún caso ambos intervalos.

El valor de 1 mg NH₄ L⁻¹ (0,78 mg L⁻¹ de nitrógeno amónico), establecido por la legislación española como tóxico para la vida de los peces (Real Decreto 927/1988), es alcanzado o superado en aguas superficiales por un 7% de las muestras analizadas en

septiembre, un 18% en octubre, un 8% en marzo, ninguna muestra en abril y mayo y un 6% en julio (Figura 5.164).

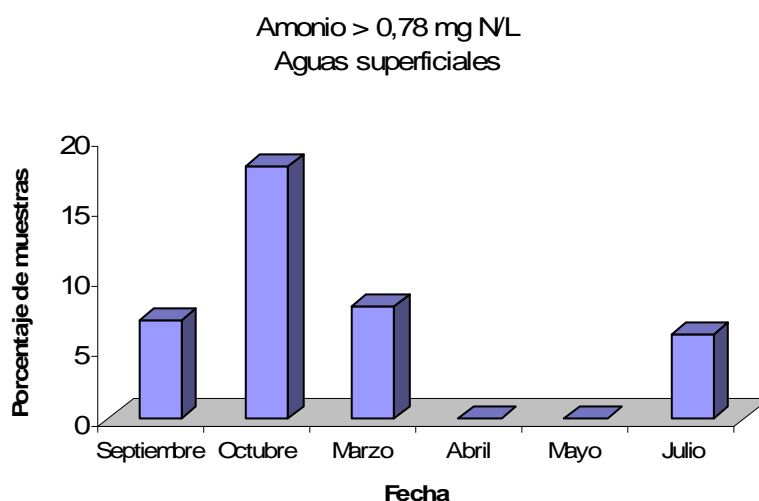


Figura 5.164. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,79 \text{ mg N L}^{-1}$ ($1 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$)

El valor de $0,5 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$ ($0,39 \text{ mg N L}^{-1}$), establecido por la Unión Europea como concentración máxima admisible en aguas destinadas al consumo humano (Directiva 98/83/CE, DOCE 5.12.98 y RD 140/2003) es superado frecuentemente por las aguas superficiales y aún con mayor frecuencia por aguas freáticas (Figuras 5.165 y 5.166). En ambos tipos de aguas este valor umbral es superado con mayor frecuencia en los meses de septiembre, octubre y julio; es decir, en época de estiaje o tras las primeras lluvias de otoño.

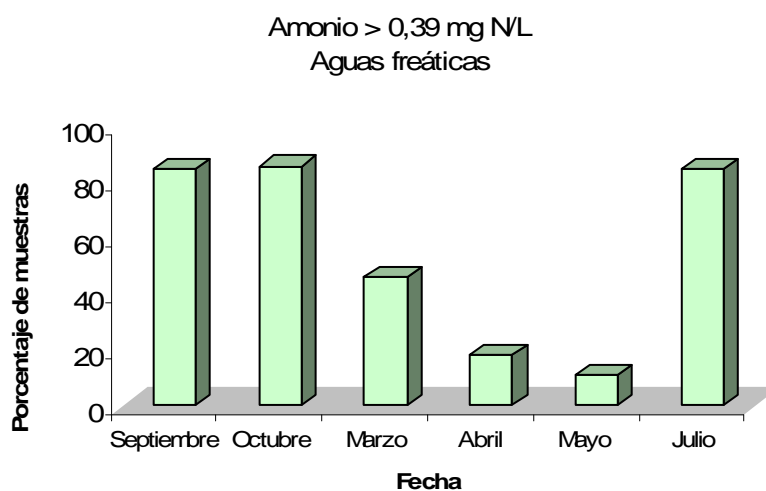


Figura 5.165. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de $0,39 \text{ mg N L}^{-1}$ ($0,5 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$)

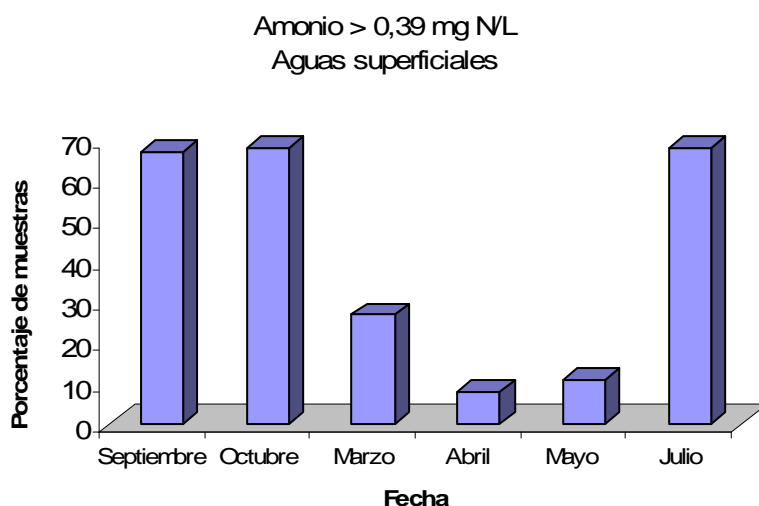


Figura 5.166. Frecuencia con que la concentración de amonio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,39 \text{ mg N L}^{-1}$ ($0,5 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$)

El valor de $0,05 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$, establecido por la legislación europea y española (Real Decreto 1138/1990, BOE 20.7.1990) como valor guía para aguas potables es superado por todas las muestras en todos los muestreos tanto en aguas freáticas como superficiales, menos el muestreo de mayo, en que es superado por el 96% de las muestras freáticas y 97% de las muestras superficiales.

En cuanto a la variación geográfica, en aguas freáticas la muestra 55 presenta una concentración significativamente mayor que el resto. Como se ha indicado, esta es la única muestra que corresponde a un acuífero profundo, tratándose en los restantes casos de acuíferos superficiales.

En cuanto a las aguas superficiales, considerando el conjunto de las fechas de muestreo, no se aprecian diferencias significativas a un nivel $p < 0,05$ entre puntos de muestreo. Sin embargo, los puntos 17, 33 y 54 presentan concentraciones singularmente elevadas de amonio en todas las fechas excepto en las fechas de abril y mayo (Figura 5.167). El punto 17 corresponde al agua de una arenera en activo, por lo que la elevada concentración de amonio se relaciona con el proceso extractivo. El punto 54 corresponde al río Limia, después del núcleo urbano de Xinzo; el punto 33 es un agua de un regato tras el pequeño núcleo de Mosteiro, cuyas aguas residuales vierten sin depurar a dicho regato. Parece, por tanto, que las elevadas concentraciones de amonio en aguas superficiales tienen un origen doméstico o urbano, más que agrario.

Aguas superficiales

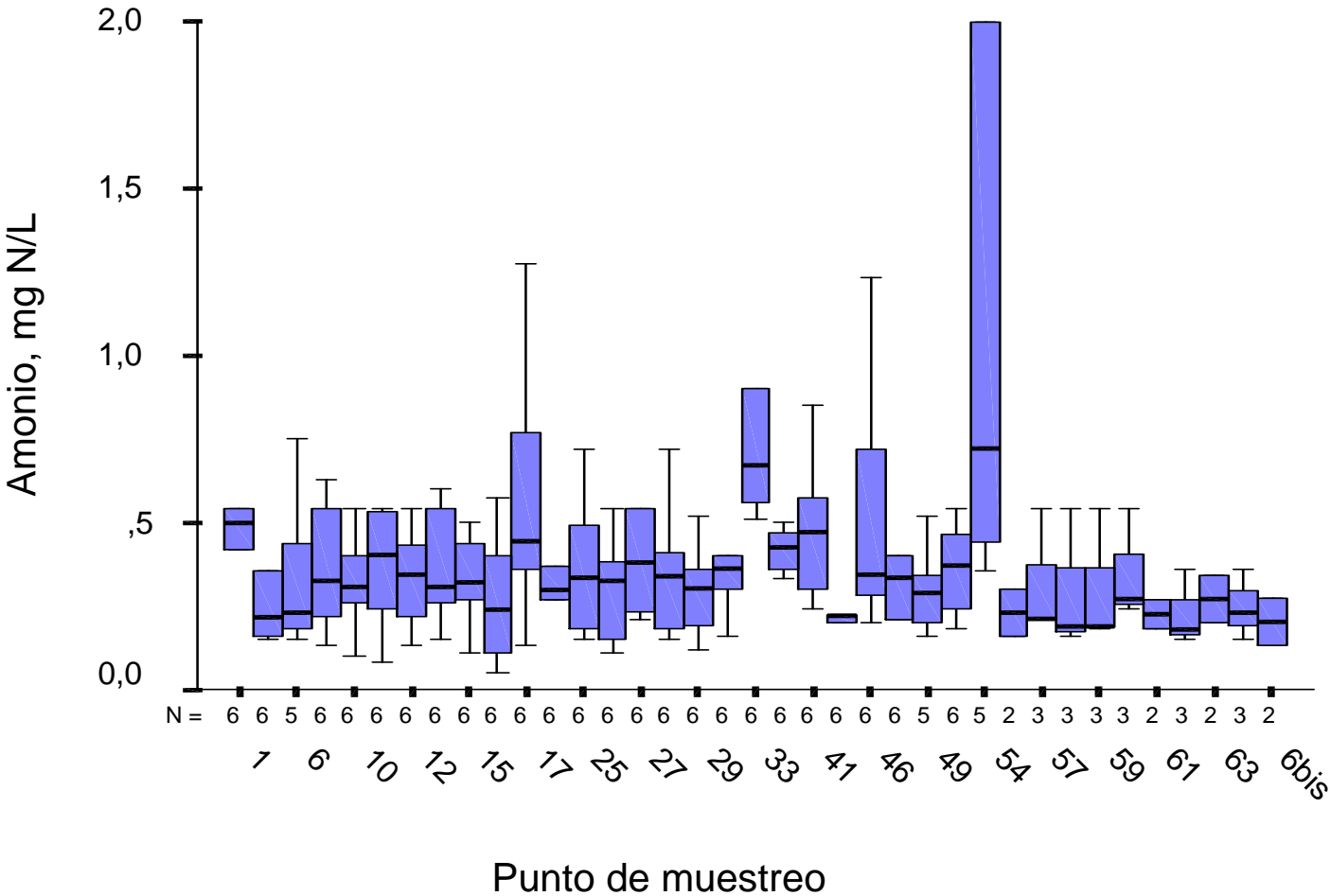
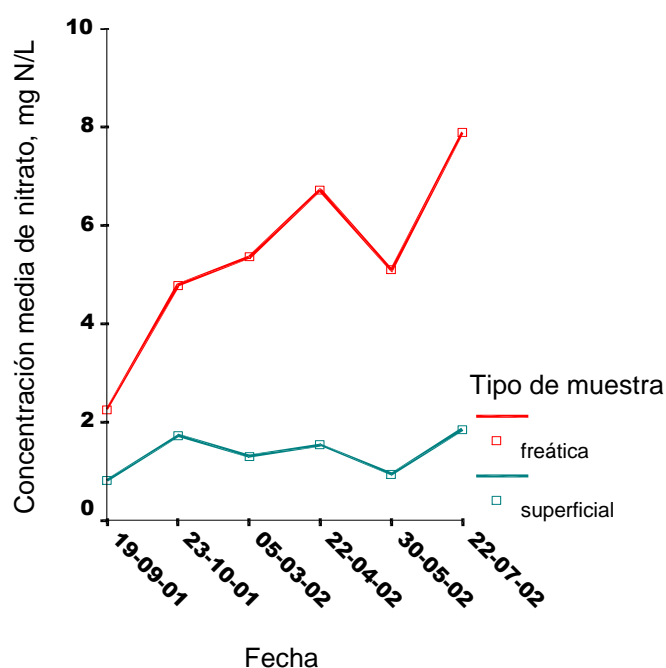


Figura 5.167. Concentración de amonio, mg N L^{-1} , para los distintos puntos de muestreo de aguas superficiales

Nitrato

Las concentraciones de nitrato en las aguas analizadas varían entre 0,17 y 20,6 mg N L⁻¹ en aguas freáticas y entre 0,17 y 9,71 mg N L⁻¹ en aguas superficiales. Tanto el tipo de agua (freática o superficial) como la fecha de muestreo influyen significativamente en la concentración de nitrato, no existiendo interacciones entre ambos factores.

Lo mismo que en el caso del amonio, las concentraciones más altas se presentan en las



aguas freáticas (Figura 5.168).

En este caso las diferencias entre aguas freáticas y superficiales son significativas ($p < 0,05$) en las seis fechas de muestreo y considerablemente mayores que en el caso del amonio (la concentración media de nitrato en aguas freáticas es cuatro o cinco veces mayor que en aguas superficiales en los muestreos de marzo, abril, mayo y julio).

Figura 5.168. Variación estacional de los valores medios de la concentración de nitrato en aguas freáticas y superficiales

Estas diferencias reflejan la gran movilidad del nitrato, que no es retenido por el suelo y alcanza fácilmente el nivel freático. Pauwels *et al.* (2001) obtienen resultados similares en una cuenca con ganadería intensiva en Bretaña (Francia), encontrando concentraciones de nitrato en un agua freática poco profunda mayores que en aguas superficiales.

Nuestro grupo de investigación (datos no publicados) encontró también valores más altos de nitrato en aguas freáticas que en superficiales en la cuenca del río Magdalena (Lugo). Por el contrario, López Mosquera *et al.* (2000) no encuentran relación entre concentración de nitrato y profundidad de muestreo en aguas superficiales y subterráneas de Terra Cha (Lugo). En concordancia con los resultados del presente estudio, Vidal *et al.*

(1998) encuentran mayores concentraciones de nitrato en aguas freáticas que en aguas superficiales de la provincia de Lugo. Interpretan estas diferencias como resultado de que en las aguas freáticas el régimen de agua resulta más estático y, por tanto, menos influenciado por el efecto global de concentración-dilución inducido por el régimen de precipitaciones. Sin embargo, en el presente estudio, lo mismo que en el de Pauwels *et al.* (2001), la composición de las aguas freáticas sufre significativas variaciones estacionales.

En un estudio de 70 muestras de aguas subterráneas de Galicia (ITGE-Xunta de Galicia, 1991), un 7,1% de las aguas analizadas sobrepasaron el nivel máximo admitido por la OMS (50 mg L⁻¹) para aguas de bebida y un 22,9% se encontraron por encima del nivel preventivo (25 mg L⁻¹).

Según Díaz-Fierros (2000), las aguas subterráneas del NW de España, en relación con su contenido en nitratos, presentan una situación razonablemente aceptable, con una calidad netamente superior a las de las zonas mediterráneas y meridionales, aunque ligeramente inferior a las restantes comunidades de la zona húmeda española. Y aunque las dosis totales de nitrógeno aportado al suelo agrario en Galicia son superiores a los 100 kg N ha⁻¹, nivel al que no llegan las restantes comunidades (a excepción de Cataluña y Cantabria), sus concentraciones en escasas ocasiones sobrepasan el umbral de los 50 mg L⁻¹ de nitrato. Este hecho se justifica, según este autor, por la dilución que aporta a las aguas subterráneas la alta pluviometría de la zona y a que la mayoría del nitrógeno aportado lo sea en forma orgánica. Bajo esta forma, aproximadamente la mitad del nitrógeno se moviliza lentamente, por lo que su asimilación por las plantas se realiza en una mayor proporción, sustrayéndoselo a los procesos de lavado.

Los valores obtenidos en el presente estudio son bajos en relación con la situación general en España, con excepción de las cuencas del Norte (Díaz-Fierros, 2000).

En aguas superficiales, la variación estacional es similar a la del amonio, alcanzándose los máximos valores en los muestreos de julio y octubre (Figura 5.169a), pero no siendo significativas las diferencias entre fechas.

En aguas freáticas, las concentraciones de nitrato son significativamente más altas ($p < 0,05$) en abril y julio que en septiembre (Figura 5.169b). La variación estacional es similar a la observada para un agua freática poco profunda por Pauwels *et al.* (2001), que encuentran concentraciones máximas en invierno y primavera y mínimas en otoño. El mínimo en la concentración de nitrato a finales de verano debe atribuirse, como lo hacen Pauwels *et al.* (2001), a procesos de desnitrificación, en los que la materia orgánica actúa como

dador de electrones; este mecanismo, favorecido por las altas temperaturas estivales, está de acuerdo con el máximo en la concentración de materia orgánica medido en la fecha de muestreo inmediatamente anterior. El mínimo secundario a finales de mayo parece resultado de la dilución causada por la precipitación ocurrida durante ese mes. Las altas concentraciones en primavera y verano se relacionan con la lixiviación de nitrato de los campos de cultivo. En abril, las lluvias de primavera favorecen la lixiviación de los fertilizantes que acaban de ser aplicados a los campos antes de la siembra de la patata. En julio, la aplicación de riego puede contribuir a la lixiviación, cuando, superada la fase de tuberización, la demanda de nitrógeno por parte del cultivo disminuye; la mineralización de la materia orgánica y la nitrificación, favorecidas por las altas temperaturas que se alcanzan en esta época y por la humedad aportada por el riego, contribuyen a la producción de nitrato, susceptible de ser lixiviado.

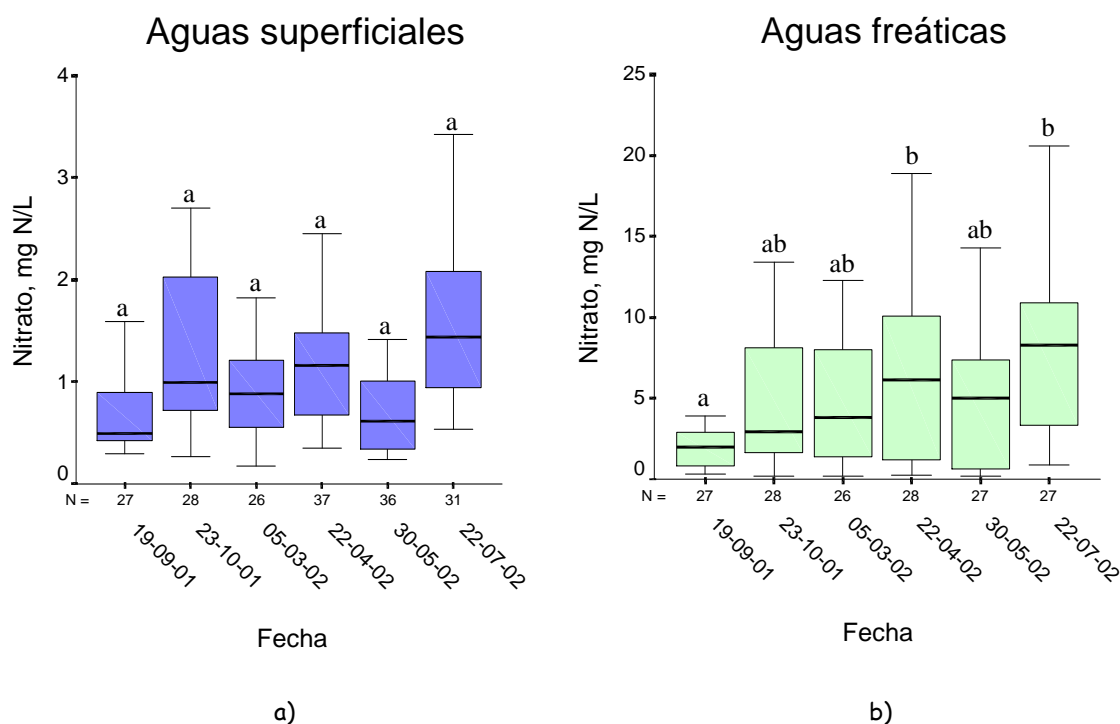


Figura 5.169. Concentración de nitrato, mg N L⁻¹, en aguas superficiales (a) y en aguas freáticas (b)

Diversos autores en distintas áreas geográficas encontraron variaciones estacionales de las concentraciones de nitrato en aguas freáticas, si bien la literatura científica se refiere a este tipo de variaciones con mucha menor frecuencia que a las variaciones espaciales (Pauwels *et al.*, 2001). Sin embargo, de acuerdo con estos autores, es importante conocer los mecanismos implicados en estas variaciones para aplicar con éxito estrategias de protección de las aguas subterráneas.

El valor de $10 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ ($2,24 \text{ mg N L}^{-1}$), especificado por el IGME (1985) que es una concentración considerada como natural en aguas subterráneas, es superado por un alto porcentaje de muestras de aguas freáticas en todas las fechas de muestreo, como se muestra en la Figura 5.170.

El valor de $5,6 \text{ mg N L}^{-1}$, establecido por la Unión Europea como valor guía para aguas potables (Directiva 80/778/CEE), es superado por una serie de muestras freáticas en todos los muestreos (el porcentaje de muestras se presenta en la Figura 5.170). El porcentaje de muestras superficiales que superan este valor guía es mucho menor en todos los muestreos (Figura 5.171).

El valor máximo admisible para aguas potables de $11,3 \text{ mg N L}^{-1}$ establecido por la Unión Europea (Directiva 98/83/CEE y RD 140/2003), es superado por un porcentaje de muestras de aguas freáticas, que se presenta en la Figura 5.170. Estas frecuencias son, en general, superiores a las publicadas en un estudio de la Xunta de Galicia (Xunta, 1991).

En el caso de las aguas superficiales, ninguna muestra supera el valor de $11,3 \text{ mg N L}^{-1}$ en ninguna fecha de muestreo.

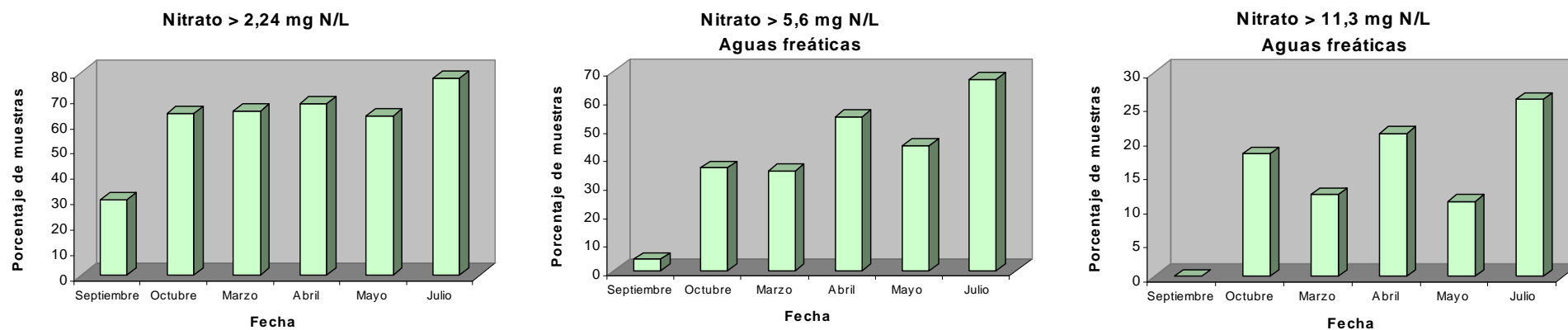


Figura 5.170. Frecuencia con que la concentración de nitrato en las muestras de aguas freáticas analizadas supera los valores de 2,24 mg N L⁻¹ (10 mg NO₃ L⁻¹ L), 5,6 mg N L⁻¹ (25 mg NO₃ L⁻¹) y 11,3 mg N L⁻¹ (50 mg NO₃ L⁻¹)

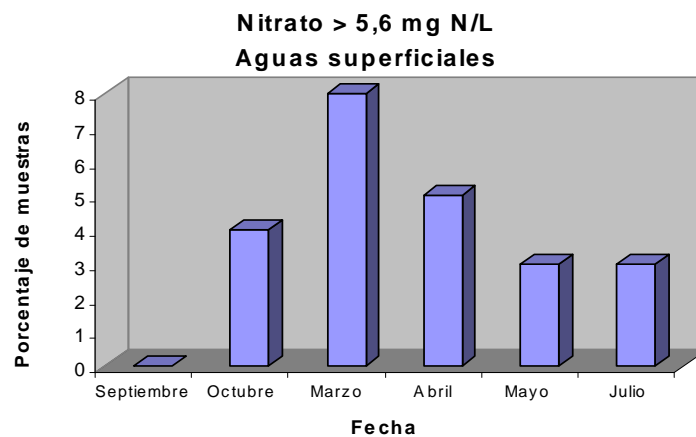


Figura 5.171. Frecuencia con que la concentración de nitrato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 5,6 mg N L⁻¹ (25 mg NO₃ L⁻¹)

López Periago *et al.* (1994) detectaron la presencia de nitratos en las aguas subterráneas de la comarca de Terra Cha. Estudiaron 65 pozos (51 convencionales y 14 de barrena). De los 65 pozos analizados el 66,2% tenían una concentración inferior a 25 mg L⁻¹ de NO₃⁻, el 23,1% una concentración entre 25 y 50 mg L⁻¹, y el 10,8% superaban los 50 mg L⁻¹. Estos porcentajes son, en general, inferiores a los encontrados en aguas freáticas en el presente estudio. Encuentran estos autores que el agua de los pozos de barrena presenta una menor concentración de nitratos que los pozos convencionales. Concluyen que la menor concentración de nitratos en los pozos de barrena pone de manifiesto la capacidad aislante de los estratos arcillosos y el efecto depurador de las gruesas capas de sedimentos en los acuíferos más profundos. En el presente estudio, la única muestra de un acuífero profundo (55) presenta bajas concentraciones de nitrato. Sin embargo, esta misma muestra presenta concentraciones muy altas de amonio y fosfato, por lo que no parece que la baja concentración de nitrato pueda atribuirse a las causas referidas por López Periago *et al.* (1994), sino tal vez a circunstancias poco favorables a la nitrificación.

Un estudio del estado de la contaminación por compuestos nitrogenados en núcleos gallegos de población superior a 500 habitantes abastecidos exclusivamente con aguas subterráneas (MOPT, 1992), en el cual se analizaron muestras de agua tomadas en 51 captaciones para abastecimiento de agua potable a 43 núcleos de población, encontró que la concentración de nitrato en estas muestras alcanzaba valores comprendidos entre 10 y 25 mg L⁻¹ en seis puntos y entre 26 y 43 en otros seis; en ningún caso alcanzaban el umbral de 50 mg L⁻¹ establecido en la Reglamentación Técnico Sanitaria para aguas potables.

En otro estudio realizado en una pequeña cuenca próxima a Santiago y con una alta densidad ganadera (González *et al.*, 1995 y Varela *et al.*, 1995) se estudiaron 23 pozos, tradicionales y de barrena, siendo su contenido en nitrato superior a 25 mg L⁻¹ en un 21,7% de las muestras y no superando en ningún caso el valor de 50 mg L⁻¹.

Díaz-Fierros y Núñez (1995) estudiaron 14 puntos de control de aguas superficiales de una cuenca de alta densidad ganadera, encontrando que en ninguno de ellos se sobrepasaba la concentración de nitratos de 25 mg L⁻¹ a lo largo de los 10 meses de seguimiento.

En cuanto a la variación geográfica, en el presente estudio se encuentran en las aguas freáticas diferencias significativas ($p < 0,05$) entre puntos de muestreo, siendo mayores las concentraciones en las muestras 24, 23, 43, 20, 19, 40 y 44, situadas en la misma área (Figura 5.172). La zona que presenta mayores concentraciones de nitrato en aguas

freáticas, es un área dentro de la comarca de A Limia de agricultura particularmente intensiva, con mucho cultivo de patata y fuerte fertilización, tanto orgánica (estiércol de pollo) como mineral. Los suelos, desarrollados predominantemente sobre materiales aluviales arenosos (Figura 5.172), favorecen la lixiviación.



Figura 5.172. Distribución de las concentraciones de nitrato en aguas freáticas

En aguas superficiales, se diferencian significativamente las muestras 17 y 31, que presentan las mayores concentraciones de nitrato (media superior a $4,3 \text{ mg N L}^{-1}$). La muestra 17 corresponde a una arenera en activo; la muestra 31 se tomó en el río Limia después del núcleo de Lamas, una zona de intensa actividad agraria. En el canal principal de la laguna de Antela, que drena un área de intensa actividad agrícola, se aprecia una tendencia al aumento de la concentración de nitrato aguas abajo (Figura 5.173).

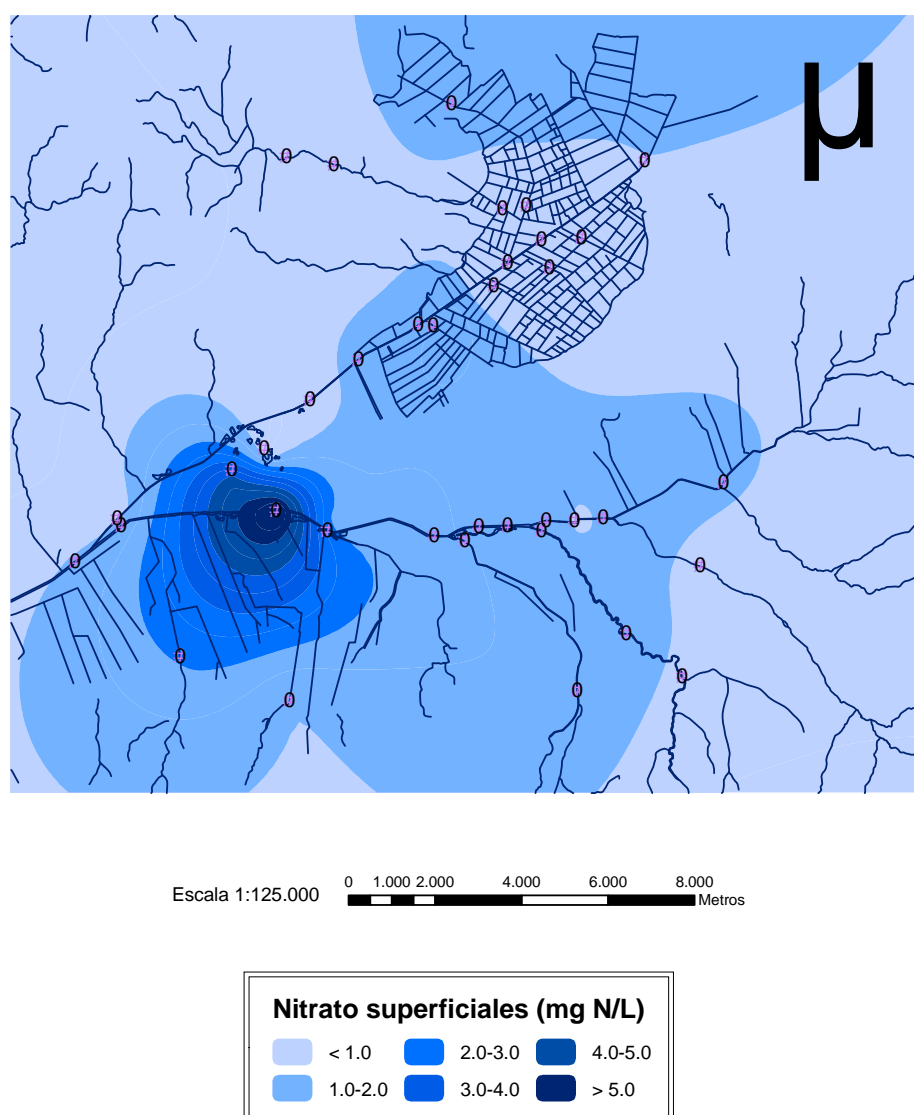


Figura 5.173. Distribución de las concentraciones de nitrato en aguas superficiales

Fosfato

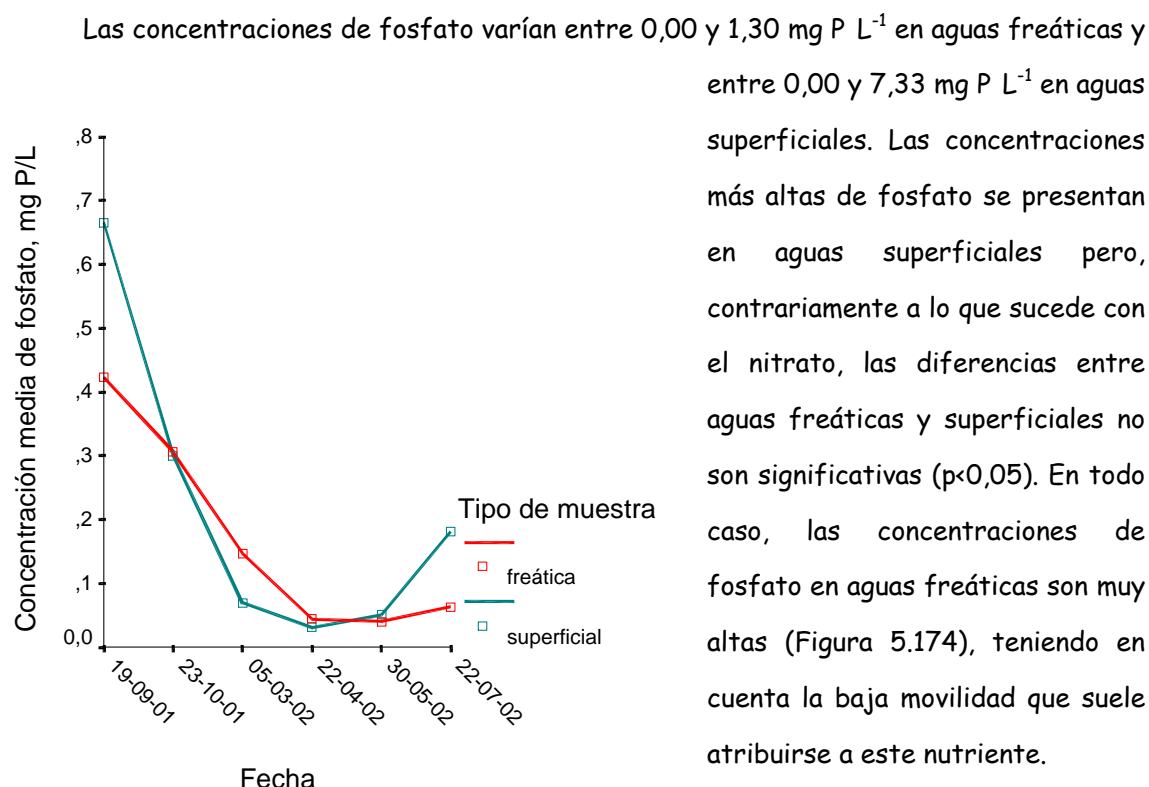


Figura 5.174. Variación estacional de los valores medios de la concentración de fosfato en aguas freáticas y superficiales

Diversos autores (Taylor y Kilmer, 1980; Sharpley y Menzel, 1987) señalan que la movilidad del fosfato puede conducir a pérdidas de los terrenos agrícolas que, si bien pueden ser despreciables desde el punto de vista agronómico, no lo son desde el punto de vista ambiental (contaminación de las aguas). La baja capacidad de adsorción de fosfato de los suelos de la zona, de texturas gruesas y carentes de materiales no cristalinos, favorece la movilidad de este nutriente en los horizontes edáficos superficiales.

La concentración de fosfato, tanto en aguas superficiales como freáticas, presenta una clara y significativa variación estacional, disminuyendo progresivamente desde septiembre hasta abril y manteniéndose con pocas variaciones a partir de esa fecha. Esta disminución se relaciona con la precipitación acumulada en este período, que produce una dilución de las masas de agua, más acusada en las aguas superficiales. La disminución de precipitaciones en julio se refleja en una tendencia al aumento de la concentración de fosfato en aguas superficiales, pero no se detecta aún en aguas freáticas (Figuras 5.175a y b). La menor movilidad del fosfato, en comparación con el nitrato, en el suelo y la inexistencia de procesos comparables a la desnitrificación hacen que la dilución y

concentración de las masas de agua, relacionadas con la precipitación y evaporación, sean el principal factor determinante de la variación estacional de la concentración de fosfato.

En concordancia con los resultados del presente estudio, Álvarez *et al.* (1989) publican datos de análisis del río Umia correspondientes a tomas de muestra de mayo a agosto, encontrando en general las máximas concentraciones de fosfato en este último mes.

La variación estacional sigue la misma pauta en aguas freáticas y superficiales. En aguas freáticas las fechas del 19-09-01 y del 23-10-01 son diferentes significativamente ($p < 0,05$) del resto de las fechas. En aguas superficiales la fecha del 19-09-01 es diferente significativamente ($p < 0,05$) de las fechas del 05-03-02, 22-04-02, 30-05-02 y 22-07-02 (Figura 5.175).

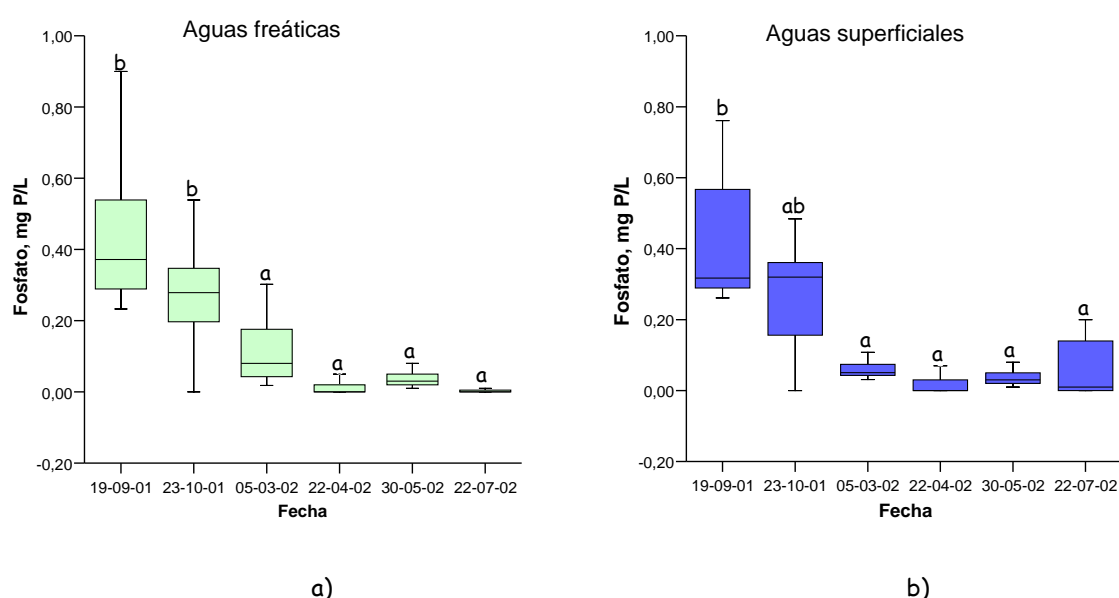


Figura 5.175. Concentración de fosfato, mg P L⁻¹, en aguas freáticas (a) y en aguas superficiales (b)

El valor de 0,1 mg P L⁻¹, establecido por la EPA (USEPA, 1986) y por la OCDE (OECD, 1982) como crítico para la eutrofización, es superado por la totalidad de las aguas superficiales analizadas en el muestreo de septiembre y por un 89%, un 12%, un 5%, un 6% y un 32% de estas muestras en octubre, marzo, abril, mayo y julio, respectivamente (Figura 5.176). Se pone de manifiesto de nuevo la importancia de la dilución en relación con la contaminación por fosfato.

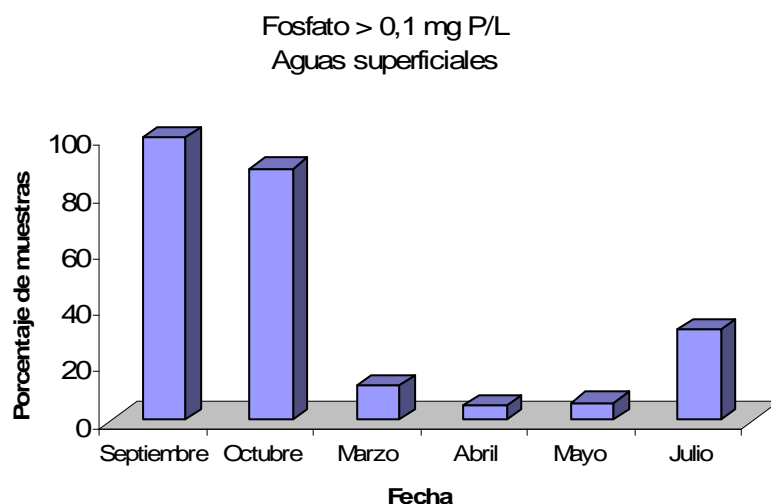
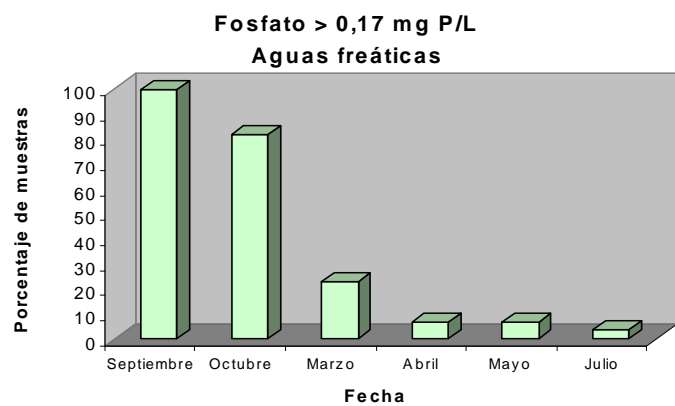


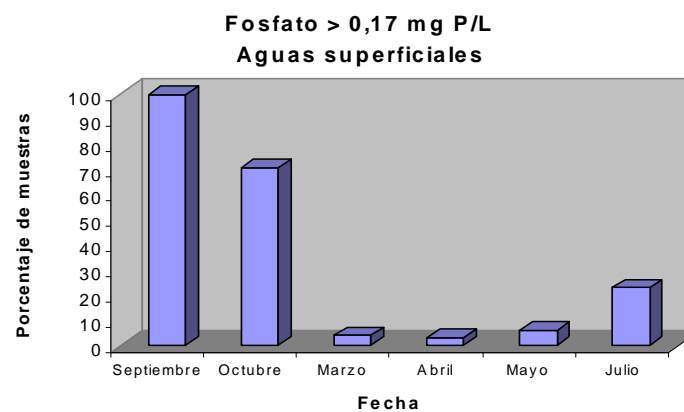
Figura 5.176. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 0,1 mg P L⁻¹

El valor de 2,18 mg P L⁻¹, establecido por la Unión Europea como **concentración máxima admisible** en aguas (Directiva 80/778/CEE relativa al abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público) y por el R.D. 1138/1990, es superado por dos muestras de aguas superficiales en el muestreo del 19-09-01 y por ninguna de las muestras de aguas freáticas en ninguno de los muestreos.

El valor de 0,17 mg P L⁻¹, establecido por la legislación europea y española (R.D. 1138/1990, BOE 20.7.1990) como **valor guía** para aguas destinadas al consumo público es superado por un porcentaje de muestras en las distintas fechas de muestreo para aguas freáticas y para aguas superficiales (Figuras 5.177a y b). Debe recordarse que este valor guía ha desaparecido en el RD 140/2003, que sustituye al RD 1138/1990, al no considerarse el fósforo como factor de riesgo para la salud humana.



a)



b)

Figura 5.177. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las aguas freáticas y superficiales analizadas supera el valor de $0,17 \text{ mg P L}^{-1}$ ($0,4 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$)

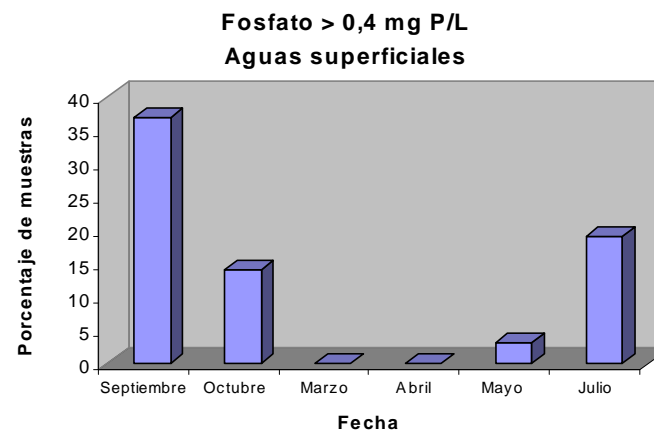
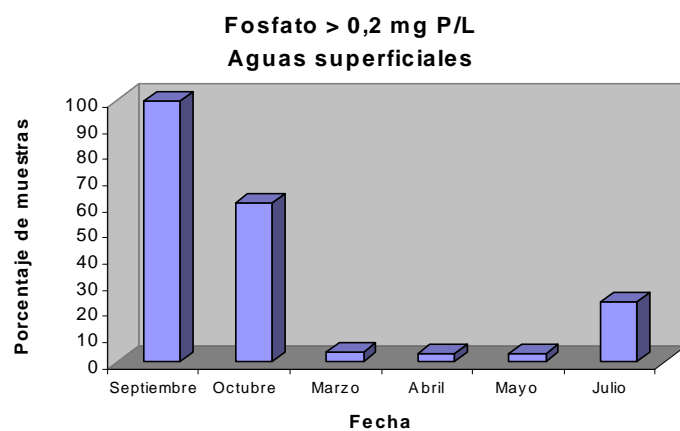


Figura 5.178. Frecuencia con que la concentración de fosfato en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de $0,2$ y $0,4 \text{ mg P L}^{-1}$

En cuanto a la calidad exigible a las aguas para ser aptas para la vida de los peces (RD 927/1988), los valores de 0,2 y 0,4 mg P L⁻¹, máximos para aguas salmonícolas y ciprinícolas, son superados con frecuencia por las aguas superficiales analizadas, particularmente en los meses de septiembre, octubre y julio (Figura 5.178).

En cuanto a la variación geográfica, lo mismo que en el caso del amonio, la muestra 55, con una concentración media de 0,98 mg P L⁻¹, presenta un valor significativamente más alto que el resto de las muestras de aguas freáticas. Se trata, como se comentó anteriormente, de la única muestra de un acuífero profundo.

En el caso de las muestras de aguas superficiales, la muestra 54 (río Limia en Lamas) presenta un valor significativamente más alto que la mayoría de las muestras restantes. Las muestras 33 (regato en Mosteiro) y 17 (arenera en activo) presentan concentraciones de fosfato intermedias, que no se diferencian significativamente de la muestra 54 ni de las restantes muestras. Las muestras 17, 33, 54 presentan también mayores concentraciones de amonio, si bien, como se ha visto, en este caso no se aprecian diferencias significativas. Parece, por tanto, que debe atribuirse a las elevadas concentraciones de fosfato el mismo origen que al amonio.

Potasio

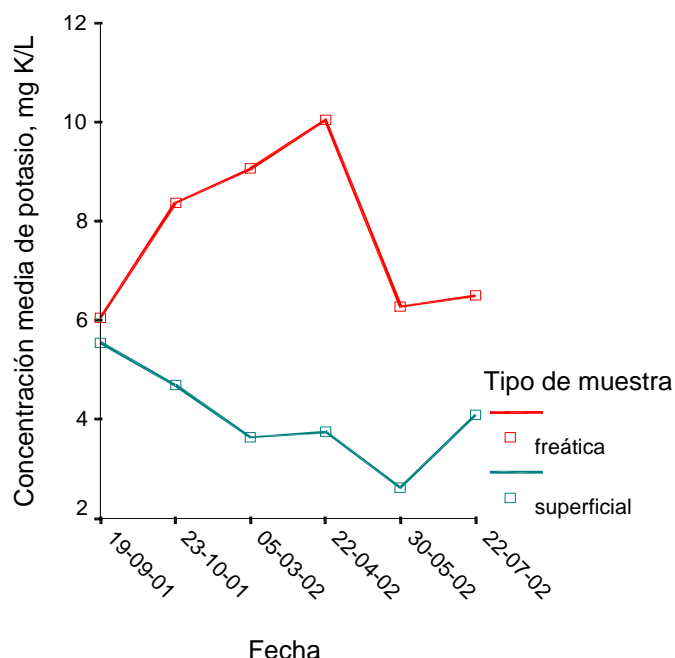
El potasio es el macronutriente que menos preocupa desde un punto de vista ambiental. La única preocupación relacionada con la contaminación por este elemento es posiblemente el riesgo de salinización, que no existe en climas lluviosos como el de Galicia.

El RD 1138/1990 de reglamentación técnico sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables establecía un nivel guía de 10 y un valor máximo de 12 mg K/L. Estos valores han desaparecido en el RD 140/2003.

Las concentraciones de este elemento en aguas de la comarca de A Limia son elevadas, como consecuencia de la fuerte fertilización potásica que reciben los cultivos. La gran movilidad del potasio y la baja capacidad de cambio catiónico de los suelos de la zona son factores determinantes de estas elevadas concentraciones.

Estas concentraciones son considerablemente más altas que las publicadas por López Mosquera *et al.* (2000) para aguas de Terra Chá, un área de intensa actividad ganadera, y por Samper *et al.* (2000) para aguas subterráneas de una cuenca de la provincia de la Coruña, pero similares a las encontradas por nuestro grupo de investigación en la cuenca del río Magdalena (datos no publicados).

El tipo de agua (freática o superficial) influye significativamente ($p < 0,05$) en la concentración de potasio. La fecha de toma de muestra no influye al nivel de significación citado, pero sí a un nivel $p = 0,07$. La interacción entre ambos factores es significativa a un nivel $p < 0,05$. Las concentraciones son similares en aguas freáticas y superficiales en el



muestreo de septiembre y significativamente ($p < 0,05$) mayores en aguas freáticas en el resto de las fechas de toma de muestra (Figura 5.179). También en la cuenca del río Magdalena (datos no publicados) se encontraron concentraciones de potasio más elevadas en aguas freáticas que en superficiales.

Figura 5.179. Variación estacional de los valores medios de la concentración de potasio en aguas superficiales y freáticas

En aguas freáticas no se observa ninguna tendencia estacional en la concentración de este elemento, siendo en general comparables las concentraciones en las seis fechas analizadas (Figura 5.180a).

En aguas superficiales, el muestreo de septiembre se diferencia significativamente ($p < 0,05$) de los muestreos de marzo, abril, mayo y julio. La concentración de potasio va disminuyendo desde septiembre a mayo (Figura 5.180b), lo que se relaciona con la precipitación acumulada y aumento de caudal en este período. La disminución de la concentración de potasio es consecuencia de la dilución de las aguas superficiales. En julio, con el estiaje, se inicia un aumento de la concentración de potasio. La tendencia de variación es similar, aunque menos acusada, que en el caso del fósforo.

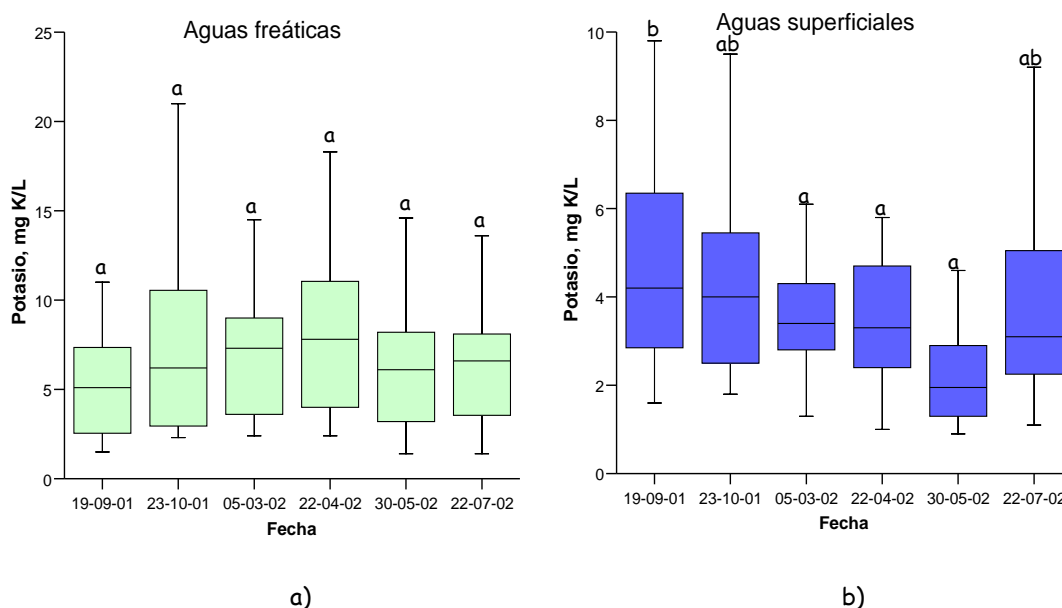


Figura 5.180. Concentración de potasio, mg K L⁻¹, en aguas freáticas (a) y superficiales (b)

En un pequeño número de aguas superficiales se encuentran concentraciones extraordinariamente altas en el muestreo de septiembre; se trata de cursos de agua de pequeño caudal, muy afectados por el estiaje.

El valor de 10 mg K L⁻¹, establecido por el R.D. 1138/1990 (Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de aguas potables de consumo público) como nivel guía y por el IGME, 1985, (concentración considerada como natural en agua dulce según el Instituto Geominero) es superado con cierta frecuencia por las aguas freáticas analizadas (Figura 5.181). En las aguas superficiales este nivel es superado con menor frecuencia (Figura 5.182).

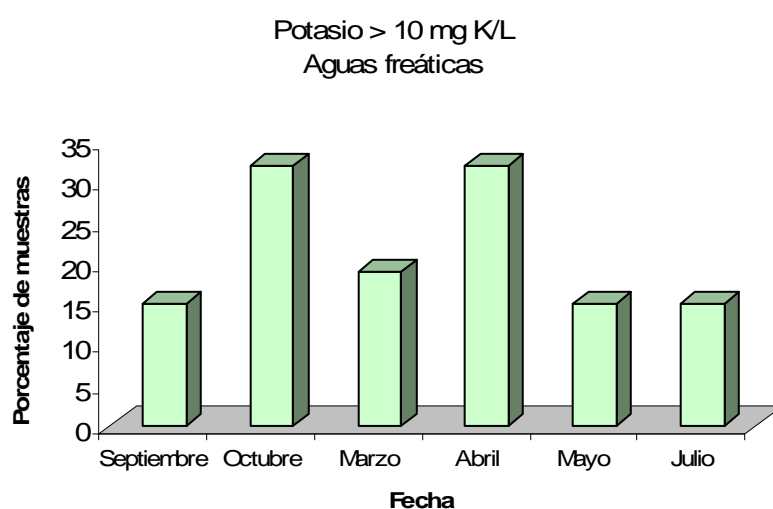


Figura 5.181. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de 10 mg K L⁻¹

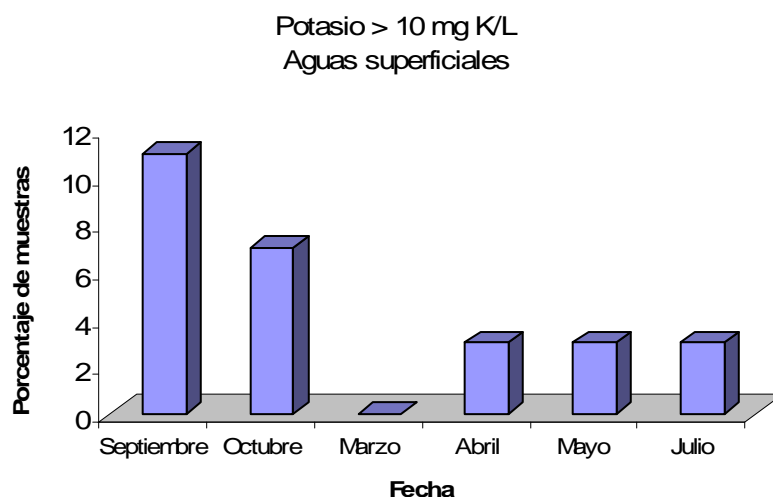


Figura 5.182. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 10 mg K L⁻¹

El valor de 12 mg K L⁻¹, establecido como concentración máxima admisible por el R.D. 1138/1990 (Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de aguas potables de consumo público) es superado con relativa frecuencia por las aguas freáticas y sólo en los muestreos de verano por algunas muestras de aguas superficiales (Figuras 5.183 y 5.184).

Debe mencionarse que no existe nivel máximo ni nivel guía para el potasio en la más reciente reglamentación española de aguas potables (Real Decreto 140/2003, BOE 21.02.2003), dada la ausencia de evidencias de efectos adversos sobre la salud de la presencia de este elemento en aguas de bebida.

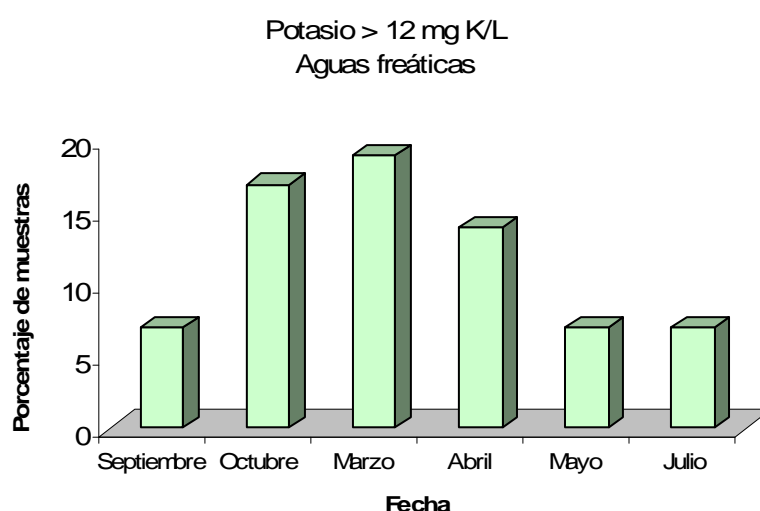


Figura 5.183. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas freáticas analizadas supera el valor de 12 mg K L⁻¹

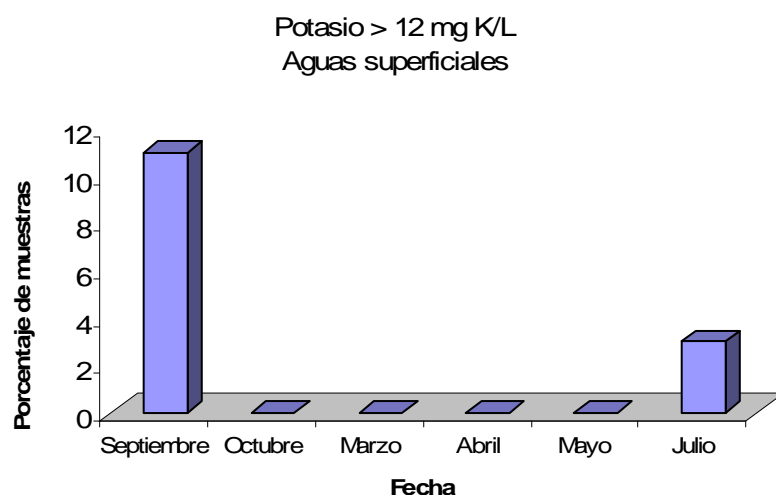


Figura 5.184. Frecuencia con que la concentración de potasio en las muestras de aguas superficiales analizadas supera el valor de 12 mg K L⁻¹

En cuanto a la variación geográfica, en las aguas freáticas las muestras 19, 34, 53 y 45 presentan valores significativamente ($p < 0,05$) más altos que el resto de las muestras. En el caso de las muestras superficiales sólo se diferencian significativamente ($p < 0,05$) la muestra 42 (río de Faramontaos), con valor medio más bajo, 1,45 mg K L⁻¹, de la muestra 17 (arenera en activo), con valor medio más alto, 10,15 mg K L⁻¹.

6. RESUMEN DE RESULTADOS

Efectos de la fertilización sobre el suelo

1. La fertilización mineral (NPK) o mixta (mineral + estiércol de pollo) de suelos dedicados al cultivo de patata en A Limia da lugar, en general, a incrementos de las concentraciones en el suelo de nitrógeno total, nitrato, fósforo y potasio asimilables, a lo largo del ciclo de cultivo y en el momento de la cosecha.
2. La variación de la concentración de un determinado nutriente no resulta sólo de la aplicación de ese elemento nutritivo, sino también del aporte de otros elementos, hecho que revela importantes interacciones entre nutrientes:
 - Por un lado, la aplicación de determinados fertilizantes minerales promueve la mineralización de la materia orgánica (del suelo o aportada como abono), liberando otros nutrientes. Así, la aplicación de P y K junto con gallinaza aumenta la concentración de nitrato en el suelo; la aplicación de nitrógeno mineral aumenta la concentración de fósforo asimilable.
 - Por el contrario, dosis elevadas de fertilización potásica dan lugar a menores concentraciones de nitrógeno residual. Este efecto resulta de la mayor producción de cosecha promovida por determinados nutrientes, que da lugar a menores concentraciones residuales de otros elementos.
3. En condiciones climáticas favorables, el aumento de fertilización se traduce en mayores extracciones por la cosecha y consiguiente aumento de la productividad. Por el contrario, en condiciones climáticas menos favorables para el cultivo, los diferentes tratamientos dan lugar a diferencias significativas en las concentraciones de nutrientes en el suelo. Así en el año considerado óptimo (2000) las concentraciones de nitrato en el suelo no aumentan significativamente con la aplicación de fuerte fertilización (hasta 60 m³ de estiércol de pollo ó 45 m³ de estiércol de pollo + 104 kg N mineral ó 230 kg N mineral por hectárea).

Efectos de la fertilización sobre el rendimiento de la cosecha

4. La aplicación de fertilización conduce, en general, a rendimientos significativamente superiores a los obtenidos en las parcelas sin fertilizar.

5. No se aprecian diferencias entre los rendimientos (total y comercial) obtenidos con fertilización mixta (orgánica y mineral) o con fertilización mineral.
6. Entre los fertilizantes minerales, la fertilización potásica es la única que da lugar a incrementos significativos de los rendimientos total y comercial. Sin embargo, éstos presentan correlaciones directas con las concentraciones de otros nutrientes en el suelo, como fósforo, calcio o magnesio asimilables, y con la capacidad de cambio catiónico efectiva, particularmente en la variedad Kennebec.
7. En un año considerado óptimo (2000), hay una respuesta del cultivo a dosis de potasio de hasta 300 kg K₂O ha⁻¹. Una dosis más elevada no produce un incremento significativo del rendimiento total y sí del peso medio del tubérculo, con la consiguiente reducción del rendimiento comercial.
8. El abonado orgánico, hasta dosis de 30 m³ de estiércol de pollo por hectárea, combinado con fertilización mineral, da lugar a incrementos significativos del rendimiento. Por el contrario, el incremento del abonado orgánico por encima de 30 m³/ha no produce un aumento significativo del rendimiento total, pero da lugar a una mayor proporción de tubérculos grandes (no comerciales).
9. La suplementación de la fertilización orgánica con fertilización mineral causa aumentos significativos del rendimiento con respecto al control, que son mayores cuando se incorporan los tres elementos NPK.
10. Los rendimientos varían significativamente entre los tres años de ensayo, indicando que factores distintos de la fertilización, presumiblemente climáticos, afectan significativamente la producción.
11. El rendimiento de la cosecha presenta una elevada correlación con la extracción de fósforo por el tubérculo y menores correlaciones con las extracciones de nitrógeno y potasio.

Efectos de la fertilización sobre la calidad de la cosecha

12. Dosis crecientes de fertilización potásica dan lugar a una disminución del porcentaje de materia seca de los tubérculos, si bien a las dosis utilizadas los

valores se mantienen dentro de los intervalos recomendados para patata de calidad. En la variedad Agria, un aumento de fertilización potásica conduce fundamentalmente a un aumento del porcentaje de agua en los tubérculos, de modo que el rendimiento de la cosecha en materia seca aumenta entre el control y la dosis más baja de fertilización potásica, pero no varía significativamente al aumentar más la dosis. Por el contrario, para la variedad Kennebec, aunque también aumenta el porcentaje de agua, se produce asimismo un aumento significativo de la productividad en materia seca.

13. La concentración de proteína en el tubérculo aumenta con la dosis de abonado orgánico y con la aplicación de nitrógeno mineral hasta 180 kg N ha⁻¹.
14. La concentración de azúcares reductores en el tubérculo está afectada significativamente por la fertilización, en particular fosfatada, siendo menor para la aplicación de 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Las concentraciones de ácidos ascórbico y cítrico no están afectadas significativamente por la fertilización.
15. La calidad de los tubérculos para frito aumenta con la fertilización, en particular potásica.
16. Las extracciones de nitrógeno y potasio por el tubérculo son con frecuencia superiores a las cantidades de estos elementos aportados con la fertilización, indicando una utilización del nitrógeno y el potasio del suelo por el cultivo.
17. Como es conocido, la variedad Agria es más adecuada para fritura que la Kennebec, ya que presenta menores concentraciones de azúcares reductores, colores más claros del producto frito, menor porcentaje de crisps desechables y menor proporción de tubérculos de gran tamaño.

Efectos de la fertilización sobre la calidad de las aguas freáticas y superficiales

18. Los análisis de aguas confirman los nutrientes aplicados al suelo como fertilizantes orgánicos o inorgánicos y no utilizados por los cultivos están disponibles para ser arrastrados a medios acuáticos por drenaje o escorrentía. La red de canales de

drenaje en la antigua Laguna de Antela favorece la movilización de nutrientes aplicados al suelo, conduciendo a elevadas concentraciones en aguas superficiales.

19. El elevado nivel de la capa freática en invierno propicia que el agua freática se cargue de sustancias solubles aplicadas al suelo, de modo que las concentraciones de macronutrientes en aguas freáticas poco profundas son más elevadas incluso que en aguas superficiales.
20. El suelo no parece ejercer eficazmente su habitual papel de filtro, posiblemente por la textura gruesa de los horizontes superficiales y el bajo contenido de materia orgánica que presenta.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En lo que se refiere a la influencia de la fertilización en las propiedades químicas del suelo, este estudio pone de manifiesto notables interacciones entre nutrientes, de modo que el aprovechamiento de un determinado elemento nutritivo está condicionado por la aplicación de otros elementos. Así es crucial, en la planificación de la fertilización, una relación adecuada entre los diversos nutrientes, que dependerá de la concentración de los mismos en el suelo inicial. El aporte de nutrientes en proporciones correctas no sólo redundará en una mejora de la cosecha, sino que también evita la presencia en el suelo, tras la cosecha, de elevadas concentraciones residuales y riesgo de lixiviación de los nutrientes aportados en exceso.

El rendimiento de la cosecha responde a la aplicación de hasta $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de estiércol de pollo combinado con fertilizantes minerales. Entre éstos últimos, el potasio es el que produce una clara respuesta del cultivo hasta $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$.

Dosis muy elevadas de fertilización potásica producen un indeseable incremento del peso medio del tubérculo, con la consiguiente disminución del rendimiento comercial, y una ligera disminución del porcentaje de materia seca. En contrapartida, dan lugar a una mayor calidad para frito, particularmente en la variedad Agria, y menor incidencia de Rhizoctonia.

La fuerte fertilización del cultivo de patata en la comarca de A Limia repercute negativamente en la calidad de las aguas freáticas y superficiales, que es menor que en la generalidad de la región gallega.

Los resultados de este trabajo deben considerarse con cautela, dado el tiempo limitado de experimentación y la variabilidad de suelos y clima, siendo aconsejable una continuidad de la investigación en esta materia.

RECOMENDACIONES

1. El estudio realizado nos lleva a recomendar la aplicación de fertilización mixta, que, si bien da lugar a una menor eficiencia del nitrógeno, el fósforo y el potasio en el año de aplicación, conduce a un incremento de la reserva de nutrientes en el suelo, que podrán ser aprovechados por la cosecha siguiente.
2. En el caso de la fertilización mineral, los resultados de este trabajo nos llevan a recomendar la aplicación de 130 kg N ha^{-1} , $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$. La aplicación, habitual en la comarca, de $1000\text{-}1250 \text{ kg ha}^{-1}$ de abono complejo 9-18-27 parece asegurar un suministro adecuado de nitrógeno y potasio y un cierto exceso de fósforo.
3. Si se dispone de abono orgánico, según los resultados de este estudio la recomendación sería 30 m^3 de estiércol de pollo por hectárea en combinación con $250 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y 100 kg N ha^{-1} . Esta fertilización permitirá obtener una abundante cosecha de calidad al tiempo que minimizar el riesgo de exportación de macronutrientes a sistemas acuáticos. Esta recomendación es compatible con la habitual de 30 m^3 de estiércol de pollo por hectárea junto con $500\text{-}700 \text{ kg ha}^{-1}$ del complejo 9-18-27.
4. Las dosis de fertilizantes deben ajustarse de acuerdo con los análisis previos del suelo de cultivo, buscando en primer lugar corregir los desequilibrios existentes.
5. La variabilidad climática y su notable influencia en los rendimientos aconsejan fraccionar la aplicación de fertilización, al menos el nitrógeno, en dos o más aplicaciones, ajustando la aplicación en cobertura, para evitar elevadas concentraciones residuales de macronutrientes en el suelo en los años menos favorables.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL GADIR, A.H., ERREBHI, M.A., AL-SARHAN, H.M., IBRAHIM, M. 2003. The effect of different levels of additional potassium on yield and industrial qualities of potato (*Solanum tuberosum* L.) in an irrigated arid region. *American Journal of Potato Research* 80: 219-222.
- ADDISCOTT, T.M. 1996. Fertilizers and nitrate leaching. En: Hester R.E. & Harrison R.M. (eds), *Agricultural Chemicals and the Environment. Issues in Environmental Science Technology* Vol. 5, pp. 1-26.
- ALKHALIFA, A.A., MAHMOUT, R.M. 1993. Polyphenol oxidase activities and properties in some potato (*Solanum tuberosum*) varieties produce in Saudi-Arabia. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 11: 377-390.
- ALLISON MF, FOWLER JH, ALLEN EJ. 2001a. Effects of soil- and foliar-applied phosphorus fertilizers on the potato (*Solanum tuberosum*) crop. *Journal of Agricultural Science* 137: 379-395.
- ALLISON, M.F., FOWLER, J.H., ALLEN, E.J. 2001b. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers crop. *Journal of Agricultural Science* 136: 407-426.
- ALLOWAY, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association. Brussels, Belgium. 114pp. <http://www.zinc-crops.org>.
- ALONSO ARCE, F. 1996. El cultivo de la patata. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 272pp.
- ALVAREZ, C.E., AMIN, M., HERNANDEZ, E., GONZALEZ, C.J. 2006. Effect of compost, farmyard manure and/or chemical fertilizers on potato yield and tuber nutrient content. *Biological Agriculture & Horticulture*, 23: 273-286.
- ÁLVAREZ, E., CALVO DE ANTA, R., Macías F. 1989. Calidad de aguas de la cuenca del río Umia (Pontevedra). *Tecnología del Agua*, 61: 35-44.
- ANGERS, D.A., EDWARDS, L.M., SANDERSON, J.B., BISSONNETTE, N. 1999. Soil organic matter quality and aggregate stability under eight potato cropping sequences in a fine sandy loam of Prince Edward Island. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 411-417.
- ANTELO CORTIZAS, J. M., ARCE VÁZQUEZ, F. 1996. Características físico-químicas das augas superficiais. En: Díaz-Fierros, F. (ed.). *As augas de Galicia*. Consello da Cultura Galega, pp. 351-346.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis* (14th edn). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- ASKEW, M.F. 2005. The potato industry in a changing world: environment and food chain issues. *Proceedings 16th Triennial Conference of the EAPR*, Bilbao, Spain, pp. 27-29.
- BELANGER, G., WALSH, J.R., RICHARDS, J.E., MILBURN, P.H., ZIADI, N. 2000. Yield response of two potato cultivars to supplemental irrigation and N fertilization in New Brunswick. *American Journal of Potato Research* 77: 11-21.

- BELANGER, G., WALSH, J.R., RICHARDS, J.E., MILBURN, P.H., ZIADI, N. 2002. Nitrogen fertilization and irrigation affects tuber characteristics of two potato cultivars. *American Journal of Potato Research* 79: 269-279.
- BELANGER, G., WALSH, J.R., RICHARDS, J.E., MILBURN, P.H., ZIADI, N. 2003. Critical petiole nitrate concentration of two processing potato cultivars in Eastern Canada. *American Journal of Potato Research*, 80: 251-261.
- BERGMANN, E., BERGMANN, H.W. 1985. Diagramas comparativos de análisis de plantas y hojas. Vol. 2. 12pp. Comunicaciones mensuales del Instituto Internacional de la Patata. Suiza.
- BEUKEMA, H.P., van der ZAAG, D.E. 1979. Potato improvement. Some factors and facts. International Agriculture Center. Wageningen. The Netherlands.
- BIEMOND, H., VOS, J. 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2. The partitioning of dry-matter, nitrogen and nitrate. *Annals of Botany* 70 (1): 37-45.
- BOAWN, L.C., LEGGETT, G.E. 1963. Zinc deficiency of the Russet Burbank potato. *Soil Science* 95: 137-141.
- BOCK, B.R. 1984. Efficient use of nitrogen in cropping systems. En: ASA. Nitrogen in Crop Production, pp. 273-294. Madison, WI, USA.
- BOONE, F.R., DE SMET, L.A.H., VAN LOON, C.D. 1985. The effect of a ploughpan in marine loam soils on potato growth. 1. Physical properties and rooting patterns. *Potato Research* 28: 295-314.
- BORRUEY, A., COTRINA, F., MULA, J., VEGA, C. 2000. Calidad industrial y culinaria de las variedades de patata. In: Pascualena, J., Ritter, E. (Eds.). Libro de Actas del Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata. Patata 2000. 3-6 Julio, Vitoria-Gasteiz, Spain.
- BOUHIÉ, A. 1979. La Galice : Essai géographique d'analyse et d'interprétation d'un vieux complexe agraire. Imprimerie Yonnaise. La Roche-sur-Yon, Vendée, Francia. 1516 pp.
- BULAEV, V.E., BULAEVA, V.G. 1975. Utilization of phosphates by potatoes as a function of the form and method of application of the accompanying nitrogen fertilizer. *Khim. Sel. Khoz.* 13: 653-658.
- BUOL, S.W., SANCHEZ, P.A., CATE, R.B., GRANGER, M.A. 1975. Soil fertility capability classification. In: Borne-misza, E., Alvarado, A. (Eds.), *Soil Management in Tropical America*. North Carolina State University, Raleigh, pp. 126-141.
- BUONDONNO, A., COPPOLA E., FELLECA D., VIOLANTE, P. 1992. Comparing test for soil fertility: 1. Conversion equations between Olsen and Mehlich 3 as phosphorus extractants for 120 soils of South Italy. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 23: 699-716.
- BURKART, M.R., STONER, J.D. 2002. Nitrate in Aquifers Beneath Agricultural Systems. *Water Science and Technology* 45: 19-29.
- BURTON, W.G. 1989. The potato. Longman Scientific and Technical. England. 742 pp.
- CALDIZ, D.O., GASPARI, F.J., MORENO KIERNAN, A., STRUIK, P.C. 2002. Agro-ecological zoning at the regional level: spatio-temporal variation in potential yield

- of the potato crop in the Argentinian Patagonia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 3-10.
- CALVO, R., FERNANDEZ MARCOS, M.L., VEIGA, M.A. 1987. Composición de la solución del suelo en medios naturales de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 46: 621-641.
- CAMARGO, J. A., ALONSO, A., SALAMANCA, A. 2005. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58: 1255-1267.
- CARBALLEIRA, A., DEVESA, C., RETUERTO, R., SANTILLAN, E., UCIEDA, F. 1983. *Bioclimatología de Galicia*. Fundación Barrié de la Maza. A Coruña.
- CARPENTER, S.R., CARACO, N.F., CORRELL, D.L., HOWARTH, R.W., SHARPLEY, A.N., SMITH, V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications* 8: 559-568.
- CARTER, M.R., SANDERSON, J.B., MACLEOD, J.A. 2004. Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 211-218.
- CASTRO P., GONZÁLEZ A., PRADA D. 1990. Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en muestras de pradera. XX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- CENNI, E., BUSSOTTI, F., GALEOTTI, L. 1998. The decline of a *Pinus nigra* Arn. reforestation stand on a limestone substrate: the role of nutritional factors examined by means of foliar diagnosis. *Annales Des Sciences Forestieres* 55: 567-576.
- CEYLAN, S., MORDOGAN, N., AKDEMIR, H., CAKICI, H. 2006. Effect of organic fertilizers on some agronomic and chemical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Chemistry* 18: 1223-1230.
- CHAPMAN, H.D., PRATT, P.F. 1981. *Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas*. 3º edición. Ed. Trillas.
- CHAPMAN, H.W. 1958. Tuberization in the potato plant. *Physiologia Plantarum* 11: 215-224.
- CHAPMAN, K.S.R., SPARROW, L.A., HARDMAN, P.R., WRIGHT, D.N., THORP, J.R.A. 1992. Potassium nutrition of Kennebec and Russet Burbank potatoes in Tasmania: effect of soil and fertiliser potassium on yield, petiole and tuber potassium concentrations, and tuber quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 521 - 527.
- CHRISTENSEN, N.W., JACKSON, T.L. 1981. Potential for phosphorus toxicity in zinc-stressed corn and potato. *Soil Science Society of America Journal* 45: 904-909.
- CIESLIK, E. 1994. The effect of naturally occurring vitamin C in potato tubers on the levels of nitrates and nitrites. *Food Chemistry* 49: 233-235.
- CINELLI, F., TAMANTINI, I., IACONA, C. 2004. Nutritional (Fe-Mn) interactions in 'Big Top' peach plants as influenced by the rootstock and by the soil CaCO₃ concentration. *Soil Science and Plant Nutrition* 50: 1097-1102.

- CLOUGH, G.H. 1994. Potato-tuber yield, mineral concentration, and quality after calcium fertilization. *Journal of The American Society for Horticultural Science* 119 (2): 175-179.
- COSTA, J. L., MASSONE, H., MARTINEZ, D., SUERO, E. E., VIDAL, C. M., BEDMAR, F. 2002. Nitrate Contamination of a Rural Aquifer and Accumulation in the Unsaturated Zone. *Agricultural Water Management* 57: 33-47.
- CROUZET, P., LEONARD, J., NIXON, S., REES, Y., PARR, W., LAFFON, L., BØGESTRAND, J., KRISTENSEN, P., LALLANA, C., IZZO, G., BOKN, T., BAK, J., (eds.). 1999. "Nutrients in European Ecosystems," pp. 1-155. European Environment Agency, Copenhagen
- CROZIER, C.R., CREAMER, N.G., CUBETA, M.A. 2000. Fertilizer management impacts on stand establishment, disease, and yield of Irish potato. *Potato Research* 43: 49-59.
- CUTTER, E.G. 1992. Structure and development of the potato plant. En: Harris, P.M. (ed.). *The potato crop: The scientific basis for improvement*. 2nd edition. Chapman & Hall. London. pp. 65-161.
- DAHLENBURG, A.P., MAIER, N.A., WILLIAMS, C.M.J. 1990. Effect of nitrogen on the size, specific gravity, crisp colour and reducing sugar concentration of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kennebec. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30 (1): 123 - 130.
- DARPOUX, R., DEBELLEY, M. 1969. *Plantas de escarda*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 309 pp.
- DARWISH, T., ATALLAH, T., HAJHASAN, S., CHRANEK, A. 2003. Management of nitrogen by fertigation of potato in Lebanon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67: 1-11.
- DARWISH, T.M., ATALLAH, T.W., HAJHASAN, S., HAIDAR, A. 2006. Nitrogen and water use efficiency of fertigated processing potato. *Agricultural Water Management* 85: 95-104.
- DAVENPORT, J.R., MILBURN, P.H., ROSEN, C.J., THORNTON, R.E. 2005. Environmental impacts of potato nutrient management. *American Journal of Potato Research* 82: 321-328.
- DAVIDESCU, D., DAVIDESCU, V. 1982. *Evaluation of fertility by plant and soil analysis*. Editura Academiei Bucuresti Abacus Press. 560 pp.
- DE TEMMERMAN, L., HACOUR, A., GUNS, M. 2002. Changing climate and potential impacts on potato yield and quality 'CHIP': introduction, aims and methodology. *European Journal of Agronomy* 17: 233-242.
- DE VARENNES, A., CARNEIRO, J.P., GOSS, M.J. 2001. Characterization of manganese toxicity in two species of annual medics. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1947-1955.
- DEBRECZENI, K., KISMANYOKY, T.S. 2005. Acidification of soils in long-term field experiments. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 36: 321-329.
- DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA, F. 2003. As augas superficiais. En: J.J. Casares Long (ed.): *Reflexións sobre o medio ambiente en Galicia*. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

- DÍAZ-FIERROS, F. 2000. Contaminación de las aguas subterráneas por actividades agropecuarias en el Noroeste de España. En: Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica. A Coruña. AIH-GE.
- DÍAZ-FIERROS, F., NÚÑEZ, A. 1995. La contaminación de las aguas subterráneas en España con origen en actividades ganaderas. En: Prácticas Agrarias Compatibles con el Medio Natural. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- DOCE 1998. Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, L 330, 32-54.
- DOLL, E.C., CHRISTENSON, D.R., WHITE, R.P. 1973. Yields and magnesium uptake by plants as affected by soil pH and calcium levels. *Agronomy Journal* 65: 205-206.
- DOMÍNGUEZ VIVANCOS, A. 1997. Tratado de fertilización. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 613 pp.
- DOW, A.I., ROBERTS, S. 1982. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnose. *Agronomy Journal* 74: 401-403.
- DRAICA, C., DIMA, E.L., IONESCU, M.A., PIRVAN, E.I. 2004. Actual situation of potato in Europe. Proceedings of EAPR Agronomy Section Meeting. Mamaia, Romania, pp.243-258.
- EC. 1980. Council Directive on the Quality of Water for Human Consumption. (80/778 EEC). Off. J. Euro. Commun. L, 229, 11.
- EC. 1991. Council Directive Concerning the Protection of Water against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources. (91/676/CEE). Off. J. Euro. Commun. L, 375: 1-5.
- EDWARDS, L., BURNEY, J.R., RICHTER, G., MACRAE, A.H. 2000. Evaluation of compost and straw mulching on soil-loss characteristics in erosion plots of potatoes in Prince Edward Island, Canada. *Agriculture Ecosystems & Environment* 81: 217-222.
- EPSTEIN, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley and Sons. New York, London, Sydney, Toronto.
- ERREBHI, M., ROSEN, C.J., GUPTA, S.C., BIRONG, D.E. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* 90: 10-15.
- EVANYLO, G.K. 1989. Rate and timing of nitrogen fertilizer for white potatoes in Virginia. *American Potato Journal* 66: 461-470.
- EZETA, F.N., MCCOLLUM, R.E. 1972. Dry matter production and nutrient uptake and removal by *Solanum andigena* in the Peruvian Andes. *American Potato Journal* 49: 151-163.
- F.A.O. 1978. Report on the agro-ecological zones project. Vol. 1. Methodology and Results for Africa. World Soil Resources Report, 48. Rome, 158 pp.
- FAO. 1990. Roots, tubers, plantains and bananas in human nutrition. FAO, Roma.
- FAO. 1998. Word Reference Base for Soil Resources. Word Soil Resources Rep. N°. 84. Roma (Italia).
- FAO. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org>

- FEIBERT, E.B.G., SHOCK, C.C., SAUNDERS, L.D. 1998. Nitrogen fertilizer requirements of potatoes using carefully scheduled sprinkler irrigation. *Hortscience* 33 (2): 262-265.
- FERNÁNDEZ MARCOS, M.L. 1997. Evaluación en cámara de crecimiento de tres métodos de determinación de fósforo asimilable en suelos no calcáreos. *Edafología* 3(1): 189-203.
- FERNÁNDEZ MARCOS, M.L., LÓPEZ MATEO, C., GARCÍA CALVO, L., ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, E., FERREIRA, T.C. 2002a. O regime hidrico e a variação sazonal da concentração de macronutrientes em meios acuáticos numa região agrícola de Galiza, Espanha. III Jornadas sobre Clima e Aplicações na CPLP. Évora. Portugal, 15-18 mayo.
- FERNÁNDEZ MARCOS, M.L., LÓPEZ MATEO, C., GARCÍA CALVO, L., ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, E. 2002b. Macronutrients in fresh waters in an agricultural area in Galicia, Spain. VII Congress of the European Society of Agronomy. Córdoba, España, 15-18 julio.
- FERREIRA, T.C., GONÇALVES, D.A. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. *Agricultural Water Management* 90: 45-55.
- FIELDES, M., PERROTT, K.W. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zealand Journal of Science* 9: 623-629.
- FINGLAS, P.M., FAULKS, R.M. 1984. The HPLC analysis of thiamin and riboflavin in potatoes. *Food Chemistry* 15: 37-44.
- FONTES, P.C.R., REIS, R.A., PEREIRA, PRG. 1996. Critical potassium concentration and potassium calcium plus magnesium ratio in potato petioles associated with maximum tuber yields. *Journal of Plant Nutrition* 19: 657-667.
- FORTUNA, A., HARWOOD, R.R., ROBERTSON, G.P. 2003. Seasonal changes in nitrification potential associated with application of N fertilizer and compost in maize systems of southwest Michigan. *Agriculture Ecosystems and Environment* 97: 285-293.
- FREEMAN, K.L., FRANZ, P.R., JONG, R.W. 1998. Effect of phosphorus on the yield, quality and petiolar phosphorus concentrations of potatoes (cvv. Russet Burbank and Kennebec) grown in the krasnozem and duplex soils of Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 83-93.
- GARCIA CALVO, L., ALVAREZ MOCIÑO, O. 2003. A comarca da Limia. *Revista do Instituto do Campo* 4: 7-8.
- GARDNER, B.R., JONES, J.P. 1975. Petiole analysis and the nitrogen fertilization of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal* 52: 195-200.
- GIROUX, M. 1986. The effects of magnesium application rate and application method in relation to potassium applied to potatoes. *Naturaliste Canadien* 113 (2): 135-142.
- GOLDEN, M., LEIFERT, C. 1999. Potential risks and benefits and dietary nitrate. En: Wilson W.S., Ball A.S. & Hinton R.H. (eds). *Managing Risks of Nitrates to Humans and the Environment*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp.269-280.
- GÓMEZ FERNÁNDEZ, J. 2006. Estudio comparado de la eficacia de los distintos sistemas de almacenamiento de patata de consumo con indicación geográfica protegida

- "Patata de Galicia". Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Lugo.
- GÓMEZ NIETO, G. 1996. A Limia: Xeografía física, humana e económica. En: Rodríguez Iglesias F. (ed.). Galicia. Xeografía, Vol. XX, pp. 22-63. Hércules de Ediciones. A Coruña. España.
- GÓNZALEZ M S, CRUZ P, AMEZAGA A, SUEIRO R A, ARAUJO M Y GARRIDO M J. 1995. Salubridad bacteriológica del agua subterránea en un área con claros indicios de contaminación difusa. En: Farmacia y Sanidad Ambiental. Consejo general de Colegios Oficiales de Farmaceúticos. Granada, pp. 193-198.
- GOULDING, K.W.T., POULTON, P.R., WEBSTER, C.P., HOWE, M.T. 2001. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use and Management* 16: 244-250.
- GRANDY, A.S., PORTER, G.A., ERICH, M.S. 2002. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1311-1319.
- GRAY, D., HUGHES, J.C. 1978. Tuber quality. En *The Potato Crop*, P.M. Harris Ed., Chapman and Hall, Londres, 504-544.
- GREER, F. R., SHANNON, M., THE COMMITTEE ON NUTRITION, THE COMMITTEE ON ENVIRONMENTAL HEALTH. 2005. Infant Methemoglobinemia: The Role of Dietary Nitrate in Food and Water. *Pediatrics* 116: 784-786.
- GREGORY, P.J., SIMMONDS, L.P. 1992. Water relations and growth of potatoes. En: Harris, P.M. (ed.). *The potato crop: The scientific basis for improvement*. 2nd edition. Chapman & Hall. London. pp. 214-246.
- GUENTHNER, J.F. 2001. *The International Potato Industry*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, Inglaterra.
- GUERRERO, A. 1984. Cultivos herbáceos extensivos. Cuarta edición. Ediciones Mundi-Prensa. 751 pp.
- GUIITIÁN, F., CARBALLAS, T. 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela, 276 pp.
- GUPTA, A., SAXENA, M.C. 1976. Evaluation of leaf analysis as a guide to nitrogen and phosphorus fertilization of potato (*Solanum tuberosum*, L.). *Plant and Soil* 44: 597-605.
- GUPTA, U.C., SANDERSON, J.B. 1993. Effect of sulfur, calcium, and boron on tissue nutrient concentration and potato yield. *Journal of Plant Nutrition* 16 (6): 1013-1023.
- GUPTA, U.C., MACLEOD, J.A., SANDERSON, J.B., WHITE, R.P. 1995. Nutrient status of potato grown on fine sandy loams in Prince Edward Island. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26 (7 y 8): 1247-1255.
- HAMOUZ, K., VOKAL, B., LACHMAN, J., CEPL, J. 2000. Influence of environmental conditions and way of cultivation on the reducing sugar content in potato tubers. *Rostlinna Vyroba* 46(1): 23-27.

- HARRIS, P.M. 1992. Mineral nutrition. En: Harris, P.M. (ed.). The potato crop: The scientific basis for improvement. 2nd edition. Chapman & Hall. London. pp. 162-213.
- HARRISON, H.C., BERGMAN, E.L., COLE, R.H. 1982. Growth responses, cooking quality determinations, and leaf nutrient concentrations of potatoes as related to exchangeable calcium, magnesium, and potassium in the soil. *American Potato Journal* 59: 113-124.
- HARTL, W., ERHART, E. 2005. Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 781 - 788.
- HAVERKORT, A.J., HARRIS, P.M. 1987. A model for potato growth and development under tropical highland conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 3: 24-31.
- HAWKES, J.G. 1992. Biosystematics of the potato. En: Harris, P.M. (ed.). The potato crop: The scientific basis for improvement. 2nd edition. Chapman & Hall. London. pp. 13-64.
- HAWKES, J.C. 1993. The historical and social role of the potato. *Proceedings of the 12th Triennial Conference of the EAPR*. Paris, France, pp. 75-84.
- HEGNEY, M.A., McPHARLIN, I.R. 2000. Response of summer-planted potatoes to level of applied nitrogen and water. *Journal of Plant Nutrition* 23: 197-218.
- HERLIHY, M., CARROLL, P. J. 1969. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium and their interactions on yield, tuber blight, and quality of potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 20: 513-517.
- HOLM D. G. y NYLUND, R. E. 1978a. Use of mineral element content of potato petioles for predicting yield potential. *American Potato Journal* 55: 291-305.
- HOLM D. G. y NYLUND, R. E. 1978b. The influence of potassium fertilizer application on tuber yield and mineral element content of potato petioles during the growing season. *American Potato Journal* 55: 306-315.
- HOSSNER, L.R., DOLL, E.C. 1970. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. *Soil Science Society of America Proceedings* 34: 772-774.
- HUGHES, J.C. 1962. Chemistry of after-cooking discoloration in potatoes. *Netherlands Institute Agriculture Botanic Journal* 9: 235-236.
- HUGHES, J.C., SWAIN, T. 1962a. After cooking blackening in potatoes. II. Core experiments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13: 229-236.
- HUGHES, J.C., SWAIN, T. 1962b. After cooking blackening in potatoes. III. Examination of the interaction of factors by "in vitro" experiments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13: 358-363.
- I.N.E. 2004. Encuesta Continua de Presupuestos Familiares. Consulta en web.
- IGME. 1974. Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Xinzo de Limia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- IGME. 1985. Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Ministerio de Industria y Energía, Secretaría de la Energía y Recursos Minerales. IGME. España.
- INSTITUTO GALLEGO DE ESTADÍSTICA (IGE). 2004. Anuario de Estadística Agraria 2003. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.

- ITGE-XUNTA DE GALICIA. 1991. Estudio de Recursos de Agua Subterránea en Galicia. Plan hidrológico. COTOP. 3 tomos. Xunta de Galicia. Santiago.
- JACKSON, T.L. 1970. Relationship between soil and plant analysis and response from phosphorus and potassium on potatoes in central and eastern Oregon. In Proc. of the 21st annual Northwest Fertilizer Conf. Salt Lake City, p. 23-30. Portland. OR.
- JADHAV, S.J., ANDREW, W.T. 1977. Effects of cultivars and fertilizers on nonvolatile organic acids in potato tubers. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal 10(1): 13-18.
- JAMES D. W., HURST R. L., WESTERMANN D. T., TINDALL T. A. 1994. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces. American Potato Journal 71: 249-265.
- JENKINS, P.D., NELSON, D.G. 1992. Aspects of nitrogen fertilizar rate on tuber dry-matter content of potato cv. Record. Potato Research 35(2): 127-132.
- JENKINS, P. D., MAHMOOD, S. 2003. Dry matter production and partitioning in potato plants subjected to combined deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium. Annals of Applied Biology 143: 215-229.
- JIMÉNEZ AGUILAR, M. 1994. La evaluación de suelos para el cultivo de patata: respuesta a la fertilización y al riego. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.
- JOERN, B.C., VITOSH, M.L. 1995. Influence of applied nitrogen on potato. 1. Yield, quality, and nitrogen uptake. American Potato Journal 72: 51-63.
- JONES, J.B. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In Micronutrients in agriculture. J.J. Morvdet eds. Soil Science Society American Journal. Madison. Wisconsin.
- KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton (FL, USA).
- KAMPRATH, E. J. 1970. Exchangeable Al as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings 34: 252-254.
- KARAM, F., LAHOUD, R., MASAAD, R., STEPHAN, C., ROUPHAEL, Y., COLLA, G. 2005. Yield and tuber quality of potassium treated potato under optimum irrigation conditions. Acta Horticulturae. Proceedings of the Meeting of The Physiology Section of The European Association for Potato Research 684: 103-108.
- KAZUSIGHE, G. 1985. Relationships between soil pH, available calcium and prevalence of the potato scab. Soil Science and Plant Nutrition 31(3): 411-418.
- KEENEY, D.R., NELSON, D.W. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. En: Page et al. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- KITA, A. 2002. The influence of potato chemical composition on crisp texture. Food Chemistry 76: 173-179.
- KLEINKOPF, G.E., WESTERMANN, D.T., DWELLE, R.B. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. Agronomy Journal 73: 799-802.

- KOLBE, H., MULLER, K., OLTEANU, G., GOREA, T. 1995a. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer treatments on weight-loss and changes in chemical-composition of potato-tubers stored at 4-degrees-C. *Potato Research* 38: 97-107.
- KOLBE, H., MEINEKE, S., ZHANG, W.L. 1995b. Differences in organic and mineral fertilization on potato-tuber yield and chemical-composition compared to model-calculations. *Agribiological Research - Zeitschrift für Agrarbiologie Agrikulturchemie Ökologie* 48: 63-73.
- KUMAR, P., PANDEY, S.K., SINGH, S.V., RAWAL, S., KUMAR, D. 2004. Effect of potassium fertilization on processing grade tuber yield and quality parameters in potato (*Solanum tuberosum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 74: 177-179.
- LACEY, M.J., WILSON, C.R. 2001. Relationship of Common Scab Incidence of Potatoes Grown in Tasmanian Ferrosol Soils with pH, Exchangeable Cations and other Chemical Properties of those Soils. *Journal of Phytopathology* 149: 679-683.
- LAUER, D.A. 1986. Russet Burbank yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer. *American Potato Journal* 63: 61-69.
- LEMA, M.J. 1996. Evaluación de los suelos de la comarca de Bergantiños para el cultivo de la patata. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- LEMA, M.J., MACÍAS, F., MARTÍNEZ, A. 1988. Evaluación de los recursos edáficos para el cultivo de patata seleccionada en la comarca de Bergantiños. Diputación da Coruña. 278 pp.
- LEMA, M.J., MARTINEZ, A. 1989. Efectos del abonado N/K sobre el contenido, interacciones y evolución del N, K, Ca y Mg en varias etapas de desarrollo de la patata. *Anales de Edafología y Agrobiología* 48: 741-764.
- LESZCZYNSKI, W., LISINSKA, G. 1988. Influence of nitrogen fertilization on chemical composition of potato tubers. *Food Chemistry* 28: 45-52.
- LIN, S., SATTELMACHER, B., KUTZMUTZ, E., MUHLING, K.H., DITTERT, K. 2004. Influence of nitrogen nutrition on tuber quality of potato with special reference to the pathway of nitrate transport into tubers. *Journal of Plant Nutrition* 27: 341-350.
- LOCASCIO, S.J., RHUE, R.D. 1990. Phosphorus and micronutrient sources for potato. *American Potato Journal* 67: 217-226.
- LONERAGAN, J.F., GROVE, Y.S., ROBSON, A.D., SNOWBALL, K. 1979. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. *Soil Science Society of America Journal* 43: 966-972.
- LONERAGAN, J.F., GRUNES, D.L., WELCH, R.M., ADUAYI, E.A., TENGAH, A., LAZAR, V.A., CARY, E.E. 1982. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. *Soil Science Society of America Journal* 46: 345-352.
- LONERAGAN, J.F., WEBB, M.J. 1993. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In A.D. Robson (ed.) *Zinc in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp 119 - 134.
- LONG, C.M., SNAPP, S.S., DOUCHES, D.S., CHASE, R.W. 2004. Tuber yield, storability, and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpiece spacing. *American Journal of Potato Research* 81 (5): 347-357.

- LOPEZ DIAZ, M.L. 2004. Fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- LÓPEZ MOSQUERA M B, PAZ GONZÁLEZ A, DAFONTE DAFONTE J, NEIRA SEIJO X. 2000. Variabilidad Espacial y Temporal de la Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas en Terra Cha (Lugo). En: Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica. A Coruña. AIH-GE.
- LÓPEZ PERIAGO E, NÚÑEZ DELGADO A, DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA F. 1994. Contaminación biótica y abiótica de pozos de una zona ganadera. En: Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas. Jornadas de Alcalá de Henares. Vol.1, pp. 379-392.
- LÓPEZ PERIAGO, J. E. 1993. Estudio de los procesos de contaminación de aguas subterráneas por purines de vacuno en la Terra Cha. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- LÓPEZ RITAS, J., LÓPEZ MELIDA, J. 1985. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. 4ª ed. Mundi Prensa. Madrid.
- LÓPEZ VERA, F. 1990. Contaminación de las Aguas Subterráneas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- LORENZ, O.A. 1944. Studies on potato nutrition: I. The effects of fertilizer treatment on the yield and composition of Kern County potatoes. American Potato Journal 21: 179-192.
- LORENZ, O.A. 1947. Potato nutrition. III. Chemical composition and uptake of nutrients by Kern County Potatoes. American Potato Journal 24: 281-293.
- LORENZ, O.A., TYLER, K.B., FULLMER, F.S. 1964. Plant analysis for determining the nutritional status of potatoes. Plant Anal. Fertilizer Prob. pp. 226-240. Brussels.
- M.A.F.F.-G.B. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Reino Unido. 1987. Fertilizer Recommendations for agricultural and horticultural crops. Reference Book 209. Ed. Her Majesty-s Stationery Office.
- M.A.P.A. 2003. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2003. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Estadísticas Agroalimentarias. Madrid.
- M.A.P.A. 2005. Anuario de Estadística Agroalimentaria 2005. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Estadísticas Agroalimentarias. Madrid.
- MACÍAS, F., ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, E., CALVO DE ANTA, R. 1991. Impactos de origen agrario y urbano en la Cuenca del río Ulla. Ecología 5: 73-86.
- MACKAY, D.C., ENTZ, T., CAREFOOT, J.M. 1989. Factors affecting leaf nutrient concentrations of potatoes on irrigated brown and dark brown chernozemic soils. Canadian Journal of Plant Science 69: 591-600.
- MACKAY, D.C., MACEACHERN, C.R., BISHOP, R.F. 1966. Optimum nutrient levels in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.). Soil Science Society of America Proceedings 30: 73-76.
- MAIER, N.A., DAHLENBURG, A.P., FRENHAM, A.B. 1986. Potassium nutrition of irrigated potatoes in South-Australia. 3. Effect on specific-gravity, size and internal

- bruising of tubers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26 (6): 737-744.
- MAIER, N.A., POTOCKY-PACAY, K.A., WILLIAMS, C.M.J. 1989a. Comparison of the use of total phosphorus concentration and acetic acid soluble phosphorus concentration in petioles for assessing the phosphorus status of potato crops. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 29: 433-438.
- MAIER, N.A., POTOCKY-PACAY, K.A., DAHLENBURG, A.P., WILLIAMS, C.M.J. 1989b. Effect of phosphorus on the specific-gravity of potato-tubers (*Solanum-tuberosum* L) of cultivars Kennebec and Coliban. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 29 (6): 869-874.
- MAIER, N.A., DAHLENBURG, A.P., WILLIAMS, C.M.J. 1994a. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield, specific-gravity, crisp color, and tuber chemical-composition of potato (*Solanum-tuberosum* L) cv Kennebec. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34 (6): 813-824.
- MAIER, N.A., DAHLENBURG, A.P., WILLIAMS, C.M.J. 1994b. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and petiolar nutrient concentration of potato (*Solanum-tuberosum* L) cvv Kennebec and Atlantic. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34: 825-834.
- MAIER, N.A., MCLAUGHLIN, M.J., HEAP, M., BUTT, M., SMART, M.K. 2002. Effect of current-season application of calcitic lime and phosphorus fertilization on soil pH, potato growth, yield, dry matter content, and cadmium concentration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33 (13-14): 2145-2165.
- MAIER, N.A., WILLIAMS, C.M.J., POTOCKY-PACAY, K., MOSS, D., LOMMAN, G.J. 1987. Interpretation standards for assessing the nutrient status of irrigated potato crops in South Australia. Department of Agriculture, Tech Note AGDEX 262/533. South Australia.
- MANRIQUE, L.A., UEHARA, G.O. 1984a. A proposed land suitability classification for potato: I. Methodology. *Soil Science Society of America Journal* 26: 727-736.
- MANRIQUE, L.A., UEHARA, G.O. 1984b. A proposed land suitability classification for potato: II. Experimental. *Soil Science Society of America Journal* 48(4): 847-852.
- MARINUS, J., BODLAENDER, K.B.A. 1975. Response of some potato varieties to temperature. *Potato Research* 18: 189-204.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. 1988. La reserva de agua útil de los suelos de Galicia. I. Relación con la textura y el contenido de materia orgánica. *Anales de Edafología y Agrobiología* 45: 561-572.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PÉREZ ALBERTI, A. 1999. Atlas Climático de Galicia. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- MATHUR, S.P., LEVESQUE, M.P. 1983. Effect of liming on the yield, nutrition and copper status of potatoes, carrots, and onions grown sequentially in two peat soils. *Canadian Journal of Soil Science* 63: 229-244.
- MATUTANO 1983. Composición química del tubérculo. Hojas divulgativas.
- McCOLLUM, R.E. 1978. Potato growth under differing P regimes. II. Time by P-status interactions for growth and leaf efficiency. *Agronomy Journal* 70: 58-66.

- McGREGOR, A. J., WILSON, G. C. S. 1966. The influence of manganese on the development of potato scab. *Plant and Soil* 25: 3-16.
- McKINNEY, P.A., PARSLOW, R., BODANSKY, H.J. 1999. Nitrate exposure and childhood diabetes. En: Wilson W.S., Ball A.S. & Hinton R.H. (eds). *Managing Risks of Nitrates to Humans and the Environment*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 327-339.
- McLEAN, A.A. 1983. Sources of fertilizer nitrogen and phosphorus for potatoes in Atlantic Canada. *American Potato Journal* 60: 913-918.
- McLEAN, A.A. 1984. Time of application of fertilizer nitrogen for potatoes in Atlantic Canada. *American Potato Journal* 61: 23-29.
- MEHLICH, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 15: 1409-1416.
- MELILLO, J.M. 2002. Nitrogen and public policies for environmental protection. *Ambio*, 31: 150-158.
- MERCASA. 1998. *Alimentación en España. Producción, Industria, Distribución y Consumo*. Ed. Empresa nacional MERCASA Distribución y consumo en colaboración con M.A.P.A. y Federación de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB). Madrid.
- MEYER, R.D., MARCUM, D.B. 1998. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. *Agronomy Journal* 90: 420-429.
- MICA, B. 1969. Effect of fertilization on the content and quality of potato starch. *Staerke* 21: 105-109.
- MIDDLETON, J.E., ROBERTS, S., JAMES, D.W., CLINE, P.A., MCNEAL, B.L. 1975. Irrigation and fertilizer management for efficient crop production on a sandy soil. College Agric. Res. Center. Bull.811. Washington State University Pullman.
- MILLER, L.G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31: 426-428.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES. 1992. Estudio de la evaluación de la contaminación por compuestos nitrogenados en abastecimientos urbanos servidos con aguas subterráneas en la Comunidad Autónoma de Galicia. Dirección General de Obras Hidráulicas. Servicio Geológico. Estudio N° 2733. Madrid.
- MIZUNO, N., YOSHIDA, H., YAMAMOTO, K. 1995. Effects of ionic strength and fertilization method on the occurrence of potato scab. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 66: 639-645.
- MOINUDDIN, K.S., BANSAL, S.K., PASRICHA, N.S. 2004. Influence of graded levels of potassium fertilizer on growth, yield, and economic parameters of potato. *Journal of Plant Nutrition* 27: 239-259.
- MONDY, N.I., MUNSHI, C.B. 1993. Effect of type of potassium fertilizer on enzymatic discoloration and phenolic, ascorbic acid, and lipid contents of potatoes. *Journal of Agricultura and Food Chemistry* 41 (11): 1868-1871.
- MONTERROSO, C., ÁLVAREZ, E., FERNÁNDEZ MARCOS, M.L. 1999. Evaluation of Mehlich 3 reagent as a multielement extractant in mine soils. *Land Degradation Development* 10: 35-47.

- MORAGHAN, J.T. 1984. Differential response of five species to phosphorus and zinc fertilisers. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 15: 437-47.
- MORAGHAN, J.T., H.J. MASCAGNI, Jr. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. 371-425 p. In Mortvedt et al. (eds.) *Micronutrients in Agriculture*, second edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- MULDER, E.G. 1956. Effect of the mineral nutrition of potato plants on the biochemistry and the physiology of the tubers. *Netherlands Journal Agricultural Science* 4: 333-356.
- MUNETA, P. 1959. Studies of after-cooking darkening in potatoes. Ph. D. thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- OBORN, I., JANSSON, G., JOHNSON, L. 1995. A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tuberosum*) and carrots (*Daucus carota*). *Water Air and Soil Pollution* 85: 835-840.
- OECD. 1982. Eutrophication of Waters: Assessment and Control. Report of the OECD cooperative programme on eutrophication. Vollenweider R A y Kerekes J (eds.). Organisation for Economic Development and Co-operation. Paris. Francia.
- OLSEN, S.R., SOMMERS, R.E. 1982. Phosphorus. En: Page et al. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- OZGEN, S., KARLSSON, B.H., PALTA, J.P. 2006. Response of potatoes (cv Russet Burbank) to supplemental calcium applications under field conditions: Tuber calcium, yield, and incidence of internal brown spot. *American Journal of Potato Research* 83: 195-204.
- PANIQUE, E., KELLING, K.A., SCHULTE, E.E., HERO, D.E., STEVENSON, W.R., JAMES, R.V. 1997. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. *American Potato Journal* 74 (6): 379-398.
- PAUL, D.K., BLACK, A.P.S., CONYERS, D.M. 2001. Development of nitrogen mineralisation gradients through surface soil depth and their influence on surface soil pH. *Plant Soil*, 234: 239-246.
- PAULETTI, V., MENARIM, E. 2004. Época de aplicação, fontes e doses de potássio na cultura da batata. *Scientia Agraria* 5 (1-2): 15-20.
- PAUWELS, H., LACHASSAGNE, P., BORDENAVE, P., FOUCHER, J.C., MARTELAT, A. 2001. Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters. *Applied Geochemistry* 16 (6): 583-596.
- PEECH, L., ALEXANDER, L.T., DEAN, L.A. 1947. *Methods of soil analysis for soil fertility investigations*. USDA Cir. nº 757.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.
- PORTER, G.A., SISSON, J.A. 1991a. Response of Russet Burbank and Shepody potatoes to nitrogen fertilizer in two cropping systems. *American Potato Journal* 68: 425-443.

- PORTER, G.A., Sisson, J.A. 1991b. Petiole nitrate content of Maine-grown Russet Burbank and Shepody potatoes in response to varying nitrogen rate. *American Potato Journal* 68: 493-505.
- PORTER, G.A., Sisson, J.A. 1993. Yield, market quality and petiole nitrate concentration of nonirrigated Russet Burbank and Shepody potatoes in response to sidedressed nitrogen. *American Potato Journal* 70: 101-116.
- PRUMMEL, J., von BARNAU-SIJTHOFF, P.A. 1984. Optimum phosphate and potassium levels in potato tops. *Fertilizer Research* 5: 203-211.
- PUCKETT, L. J. 1995. Identifying the Major Sources of Nutrient Water-Pollution. *Environmental Science & Technology* 29: A408-A414.
- QUARTIN, V.M.L., ANTUNES, M.L., MURALHA, M.C., SOUSA, M.M., NUNES, M.A. 2001. Mineral imbalance due to manganese excess in triticales. *Journal of Plant Nutrition* 24: 175-189.
- RATHKE, G.W., BEHRENS, T., DIEPENBROCK, B. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus*, L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 80-108.
- REAL DECRETO 1138/1990 de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de Calidad de las Aguas Potables de Consumo Público. B.O.E. 20.7.1990.
- REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. B.O.E. 21.2.2003.
- REAL DECRETO 927/1988. Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica. Anexo Número 3. Calidad exigible a las aguas continentales cuando requieran protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces. B.O.E. 31.8.1988.
- REIS, R.A., FONTES, P.C.R. 1996. Qualidade de tubérculos de batata em função de doses da adubação potássica. *Horticultura Brasileira*, Brasília 14 (2): 170-174.
- RHUE, R.D., HENSEL, D.R., KIDDER, G. 1986. Effect of K fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil. *American Potato Journal* 63: 665-681.
- RIVERO, R.C., HERNÁNDEZ, P.S., RODRÍGUEZ, E.M.R., MARTIN, J.D., ROMERO, C.D. 2003. Mineral concentrations in cultivars of potatoes. *Food Chemistry* 83: 247-253.
- ROBERTS, S., BEATON, J.D. 1988. Potato use of phosphorus and potassium in sandy soils. *Research Bulletin XB1004*. WSU. Pullman. 13 pp.
- ROBERTS, S., DOW, A.I. 1982. Critical nutrient ranges for petiole phosphorus levels of sprinkler-irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy Journal* 74: 583-585.
- RODIER, J. 1981. *Análisis de aguas: aguas naturales, aguas residuales, aguas del mar*. Ediciones Omega. Barcelona.
- RODRIGUES, M.A. 2004. Establishment of continuous critical levels for indices of plant and sidedressed soil nitrogen status in the potato crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35: 2067-2085.

- RODRIGUES, M.A., COUTINHO, J., MARTINS, F., ARROBAS, M. 2005. Quantitative sidedress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices. *European Journal of Agronomy* 23: 79-88.
- ROE, M.A., FAULKS, R.M., BELSTEN, J.L. 1990. Role of reducing sugars and amino acids in fry colour of chips from potatoes grown under different nitrogen regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 52: 207-214.
- ROINILA, P., VAISANEN, J., GRANSTEDT, A., KUNTTU, S. 2003. Effects of different organic fertilization practices and mineral fertilization on potato quality. *Biological Agriculture and Horticulture* 21: 165-194.
- ROUSSELLE, P., ROBERT, Y., CROSNIER, J.C. 1999. La patata : producción, mejora, plagas y enfermedades, utilización. INRA. (versión española de J.M. Mateo Box). Ed. Mundi-Prensa.
- ROVERS, P.J.W., KASPRZYCKA-GUTTMAN, T. 1992. Analysis of organic acids in potato wastewater. *Food Chemistry* 45: 283-287.
- ROWE, R. C. (ed.). 1993. Potato Health Management. American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, EEUU.
- ROY, S.K., SHARMA, R.C., TREHAN, S.P. 2001. Integrated nutrient management by using farmyard manure and fertilizers in potato-sunflower-paddy rice rotation in the Punjab. *Journal of Agricultural Science* 137: 271-278.
- SAFAYA, N.M. 1976. Phosphorus-zinc interaction in relation to absorption rates of phosphorus, zinc, copper, manganese and iron in corn. *Soil Science Society of America Journal* 40: 719-722.
- SAINI, G.R., GRANT, W.J. 1980. Long-term effects of intensive cultivation on soil quality in the potato-growing areas of New Brunswick (Canada) and Maine (U.S.A). *Canadian Journal of Soil Science* 60: 421-428.
- SALE, P.J.M. 1974. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input. III. Carbon balance of potato crops. *Australian Journal of Plant Physiology* 1: 283-296.
- SAMPER, J., LEITÃO, T., FERNÁNDEZ, L., RIBEIRO, L. 2000. Estado actual del conocimiento de las aguas subterráneas en Galicia. En: Jornadas hispano-lusas sobre las aguas subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica. A Coruña, 3-6 de julio de 2000.
- SÁNCHEZ, P.A., CONTO, W., BUOL, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. *Geoderma* 27: 283-309.
- SANZ, M., HERAS, L., MONTAÑES, L. 1982. Metodología para el establecimiento de óptimos nutricionales en patata. En Jornadas técnicas sobre el cultivo y comercialización de la patata: reuniones técnicas. p. 187-217. Ed. Real Soc. Basca de Amigos del País. Álava.
- SGMOPT. 1992. Estudio de la evaluación de la contaminación por compuestos nitrogenados en abastecimientos urbanos servidos con aguas subterráneas en la Comunidad Autónoma de Galicia. Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid.
- SHARMA, U.C., ARORA, B.R. 1987. Effect of applied nitrogen on P and K concentration in potato plant (*Solanum tuberosum* L.). *Indian Journal of Plant Physiology* 30 (3): 314-316.

- SHARMA, U.C., ARORA, B.R. 1989. Critical nutrient ranges for potassium in potato leaves and petioles. *Journal of Horticultural Science* 64 (1): 47-51.
- SHARPLEY, A.N., MENZEL, R.G. 1987. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Advances in Agronomy* 41: 297-324.
- SHARPLEY, A.N., FOY, B.H., WITHERS, P.J.A. 2000. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: an overview. *Journal of Environmental Quality* 29: 1-9.
- SHARPLEY, A.N., MCDOWELL, R.W., WELD, J.L., KLEINMAN, P.J.A. 2001. Assessing Site Vulnerability to Phosphorus Loss in an Agricultural Watershed. *Journal of Environmental Quality* 30: 2026-2036.
- SILVA, V.M.L., MAGALHAES, J.R., SILVA, F.L.I.M. 1987. Potato response to calcium and acidity correction in a red yellow latosol, under greenhouse conditions. *Revista Brasileira Ciencia do Solo* 11: 81-83.
- SILVA, G.H., CHASE, R.W., HAMMERSCHMIDT, R., CASH, J.N. 1991a. After-cooking darkening of Spartan Pearl potatoes as influenced by location, phenolic acids, and citric acid. *J. Agric. Food Chemistry* 39: 871-873.
- SILVA, G.H., CHASE, R.W., HAMMERSCHMIDT, R., VITOSH, M.L., KITCHEN, R.B. 1991b. Irrigation, nitrogen and gypsum effects on specific-gravity and internal defects of Atlantic potatoes. *American Potato Journal* 68 (11): 751-765.
- SIMMONS, K.E., KELLING, K.A., WOLKOWSKI, R.P., KELMAN, A. 1988. Effect of calcium source and application method on potato yield and cation composition. *Agronomy Journal* 80: 13-21.
- SIMS, J.T. 1989. Comparison of Mehlich 1 and Mehlich 3 extractants for P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in atlantic coastal plain soils. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 20 (17 y 18): 1707-1726.
- SIMS, J.T., SIMARD, R.R., JOERN, B.C. 1998. P losses in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* 27: 277-293.
- SLATER, J.W. 1963. Mechanisms of tuber initiation. En: Ivins, J.D.; Milthorpe, F.L. (eds.). *The growth of the potato*. Butterworths. London. pp. 114-120.
- SMITH, O. 1958. Potato quality X. Post harvest treatment to prevent after cooking darkening. *American Potato Journal* 35: 573-584.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey*. Soil Conservation Service U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook nº 436 Washington, pp. 754.
- SOTELO, A., CONTRERAS, E., SOUSA H., HERNANDEZ, V. 1998. Nutrient composition and toxic factor content of four wild species of Mexican potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 1355-1358.
- SPARROW, L.A., CHAPMAN, K.S.R. 2003a. Effects of nitrogen fertiliser on potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Russet Burbank) in Tasmania. 1. Yield and quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43 (6): 631-641.
- SPARROW, L.A., CHAPMAN, K.S.R. 2003b. Effects of nitrogen fertiliser on potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Russet Burbank) in Tasmania. 2. Petiole and soil analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43 (6): 643-650.

- SRIKUMAR, T.S., ÖCKERMAN, P.A. 1990. The effects of fertilization and manuring on the content of some nutrients in potato (var. Provita). *Food Chemistry* 37: 47-60.
- STARK, J.C., PORTER, G.A. 2005. Potato nutrient management in sustainable cropping systems. *American Journal of Potato Research* 82: 329-338.
- STEVENS, R.G., HAMMOND, M.W. 1992. What is needed and how do we maintain these resources. *American Potato Journal* 69 (11): 717-730.
- TAJA, H., van der ZAAG, P. 1991. Organic residue management in the hot tropics - influence on the growth and yield of solanum potato and maize. *Tropical Agriculture* 68 (2): 111-118
- TAYLOR, A.V., KILMER, V.J. 1980. Agricultural phosphorus in the environment. En: R.E. Khasawneh (Ed.). *The role of phosphorus in agriculture*, pp. 545-557. American Society of Agronomy. Alabama.
- TISDALE, S., NELSON, W., BEATON, J., HAVLIN, J. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. Ed. Macmillan. New York.
- TRAN, T.S., GIROUX, M., GUIBEAULT, J., AUDESSE, P. 1990. Evaluation of Mehlich 3 extractant to evaluate the available phosphorous in Quebec soils. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 21: 1-28.
- TREHAN, S.P., GREWAL, J.S. 1984. Deficiency and toxicity limits of zinc and copper for potato in acidic hill soils of Simla. *Fertizer News* 29: 33-36.
- ULRICH, A., FONG, K.H. 1969. Effects of potassium nutrition on growth and cation content of potato leaves and tubers relative to plant analysis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 94 (4): 356-&.
- USEPA. 1994. *Water quality standards handbook*. 2nd ed. EPA 823-B-94-005a. USEPA Office of Water, Washington, DC.
- USEPA. 1994. *Water quality standards handbook*. 2nd ed. EPA 823-B-94-005a. USEPA Office of Water, Washington, DC.
- van der ZAAG, D.E. 1987. *La patata y su cultivo en los Países Bajos*. Ministerio de Agricultura y Pesca. La Haya. Holanda.
- van LIEROP, W., TRAN, T.S., BAUVILLE, G. 1982. Effect of liming on potato yield as related to soil pH, Mn, Al, Ca. *Agronomy Journal* 74: 1050-1054.
- VARELA, C., LÓPEZ, E., DÍAZ-FIERROS, F. 1995. Calidad química del agua ligada al flujo basal y actividad ganadera. En: *Farmacia y Sanidad Ambiental*. Consejo general de Colegios Oficiales de farmaceuticos. Granada, pp.199-207.
- VÁZQUEZ ODERIZ, M.L., VÁZQUEZ BLANCO, M.E., LÓPEZ HERNÁNDEZ, J., SIMAL LOZANO, J., ROMERO RODRIGUEZ, M.A. 1994. Simultaneous determination of organic acids and vitamin C in green beans by liquid chromatography. *Journal of AOAC International* 77: 1056-1059.
- VIADÉ BORREGO, A. 2005. Utilización de CaCO₃ con distintas granulometrías en una rotación pradera/maíz: efectos sobre las propiedades químicas de un suelo y la producción. Tesis doctoral. Departamento de Fisiología Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Lugo.
- VIDAL, M., LÓPEZ, A., SANTOALLA, M. C. 1998. Efectos contaminantes detectados en tres zonas ganaderas de la provincia de Lugo. En: *Estudio del estado de la*

- contaminación por residuos de las explotaciones ganaderas en la comarca de Lugo, Antas de Ulla, Sarria y Chantada, su tratamiento y eliminación. Diputación Provincial de Lugo.
- Von SCHÉELE, C. VON, SVENSSON, G., RASMUSSEN, J. 1937. Die bestimmung des stärkegehalts und der trockensubstanz der kartoffel mit hilfe des spezifischen gewichts. Landwirtsch. Versuchsstn 127: 67-96.
- VOS, J. 1997. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. *Potato Research* 40: 237-248.
- VOS, J., GROENWOLD, J. 1987. Mean annual yield reductions of potatoes due to water deficits for Dutch weather conditions. *Potato Agrometeorology. Acta Horticulturae* 214: 61-70.
- WALWORTH, J.L., MUNIZ, J.E. 1993. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. *American Potato Journal* 70: 579-597.
- WANG-PRUSKI, G., NOWAK, J. 2004. Potato after-cooking darkening. Review. *American Journal of Potato Research* 81: 7-16.
- WARING, S.A., BREMNER, J.M. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201: 951-952.
- WARMAN, P. R., FAIRCHILD, G. 1983. The effects of Endosulfan and fertilizer source on soil fertility: I. Potato, cabbage and strawberry tissue composition. *Plant and Soil* 74: 189-202.
- WARMAN, P.R., HAVARD, K.A. 1998. Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 68: 207-216.
- WENDT, J. 1995. Evaluation of the Mehlich 3 soil extractant for upland Malawi soils. *Communications Soil Science and Plant Analysis* 26 (5 y 6): 687-702.
- WESTERMANN, D.T., KLEINKOPF, G.E. 1984. Phosphorus relationships in potato plants. *Agronomy Journal* 77: 490-494.
- WESTERMANN, D.T. 1990. Soil testing and plant analysis. *SSAA Book Series* nº 3. Madison. Wisconsin. 784 pp.
- WESTERMANN, D.T., TINDALL, T.A., JAMES, D.W., HURST, R.L. 1994a. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity. *American Potato Journal* 71: 417-432.
- WESTERMANN, D.T., JAMES, D.W., TINDALL, T A., HURST, R.L. 1994b. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. *American Potato Journal* 71: 433-453.
- WILLIAMS, C.M.J., STRANGE, P. 1991. In: R.P. Kirkham (ed.). "Potato cultivar trials in Australia 1990-91". Research report series nº. 130, Dept. of Agriculture, Victoria, pp. 46-48.
- WILLIAMS, C.M.J. 1993. One hundred tonnes of tubers per hectare - how to get it (using new cultivars and management systems) and the constraints. *Proc. 7th National Potato Research Workshop*. Ulverstone, Tasmania, Australia, pp. 142-147.

- WILLS, R.B.H., LIM, J.S.K., GREENFIELD, H. 1984. Variation in the nutrient composition of Australian retail potatoes over a 12-month period. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 35: 1012-1017.
- WITTEWER, S.H., SCHROEDER, R.A., ALBRECHT, W.M.A. 1946. Interrelationships of calcium, nitrogen, and phosphorus in vegetable crops. *Plant Physiology* 22: 244-256.
- YLI-HALLA, M., VIKARI, E., PALONEN, J. 1987. Quantity and quality of potato yield as influenced by unbalanced and excessive fertilization. *Journal of Agricultural Science in Finland* 59: 131-139.
- YUAN, T.L., HENSEL, D.R., MANSELL, R.S., RHUE, R.D. 1985. Yield and nutrient content of potato on a sandy humaquept with high levels of accumulated Ca y P. *Soil and Crop Science Soc. of Florida Proceedings* 44: 68-71.
- ZEBARTH, B.J., LECLERC, Y., MOREAU, G., BOTHA, E. 2004. Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Yield and processing quality. *Canadian Journal of Plant Science* 84: 855-863.
- ZVOMUYA, F., ROSEN, C.J., RUSELLE, M.P., GUPTA, S.S. 2003. Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. *Journal of Environmental Quality* 32: 480-489.